



**Clara Sena**

**Interacções água subterrânea – água superficial na  
zona da Pateira de Fermentelos (Portugal)**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geociências, realizada sob a orientação científica da Doutora Teresa Condesso de Melo, Professora convidada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e do Doutor Manuel Augusto Marques da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro do POCI 2010 no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.

Apoio financeiro da FCT e do FSE no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.

À minha família

## **o júri**

presidente

**Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva**  
professor catedrático da Universidade de Aveiro

**Doutora Maria do Rosário Costa Pereira**  
professora auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Doutora Maria Teresa Condesso de Melo (Orientadora)**  
professora convidada da Universidade de Aveiro

**Doutor Manuel Augusto Marques da Silva (Co-orientador)**  
professor catedrático da Universidade de Aveiro

## agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente tornaram possível a concretização deste trabalho.

Agradeço em primeiro lugar à minha orientadora, a Doutora Maria Teresa Condesso de Melo, pelo incentivo, olhar crítico e apoio incondicional em todas as etapas desta tese. Seguidamente gostaria de agradecer ao meu co-orientador, o Prof. Doutor M. A. Marques da Silva, pelo apoio e acompanhamento prestado ao longo do trabalho.

Gostaria, também, de expressar a minha gratidão à Doutora Carla Patinha, pelo apoio em todos os procedimentos laboratoriais. Um agradecimento especial ao colega Carlos Ordens, pelo apoio dado nas campanhas de campo, pelas ideias, sugestões e discussões que foram surgindo ao longo do trabalho. Agradeço também, ao Carlos Granjeira, pelo apoio nas campanhas de campo mais arriscadas e à Cláudia e à Célia, pelo apoio dado em temas relacionados com a biologia.

Gostaria de agradecer às seguintes entidades:

- CCDR-Centro, nomeadamente ao Sr. Carlos Ramos, Sr. Simões e ao Dr. Fernando;

- Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

Quero expressar, também, a minha sincera gratidão ao Sr. Clemente e ao Sr. Gil, pelos passeios de bateira na Pateira de Fermentelos, sem os quais não teria sido possível realizar as amostragens mensais da lagoa. Manifesto, também, o meu apreço pela disponibilidade dos presidentes das juntas de freguesia de Fermentelos e de Requeixo, e pelo apoio dado pela direcção da Estalagem da Pateira, no apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos habitantes das zonas ribeirinhas da Pateira de Fermentelos, agradeço a preciosa informação que me forneceram acerca de aspectos particulares e muito importantes da Pateira de Fermentelos.

Agradeço à minha família e ao Ilidio, por me terem conduzido até aqui, e um agradecimento especial ao avô Sena, sem o qual tão cedo não me teria lançado para esta experiência.

Gostaria de agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia o financiamento da bolsa de Doutoramento SFRH/BD/16647/2004 e do projecto EcoWet (POCI/CTE-GEX/58951/2004),.

## palavras-chave

Pateira de Fermentelos, lagoa, ecossistema aquático, recarga, interacção água subterrânea – água superficial, qualidade da água.

## resumo

A Pateira de Fermentelos é uma lagoa natural, localizada na foz do rio Cértima (Baixo Vouga), que sustenta importantes ecossistemas aquáticos. Na zona Oeste da lagoa aflora o sistema aquífero Cretácico de Aveiro, que aqui se comporta como aquífero livre a semi-confinado. Estes afloramentos cretácicos são parte integrante da zona de recarga deste importante sistema aquífero. A existência de uma zona húmida como a Pateira de Fermentelos na zona de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro conduziu à necessidade de estudar as relações água subterrânea – água superficial entre estas duas massas de água.

Com o objectivo de estudar a evolução temporal das interacções água subterrânea – água superficial, foram realizadas campanhas de campo mensais para análise de águas, medição dos caudais de nascentes, medição do nível freático e do nível das massas de água superficial.

O estudo da variabilidade espacial baseou-se nos resultados obtidos numa campanha mais abrangente, para análise química completa e medição de níveis e caudais das distintas massas de água presentes.

Os resultados obtidos permitem verificar que a lagoa e respectiva rede hidrográfica drenam o sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona onde é livre. Este fluxo subterrâneo em direcção à lagoa e linhas de água é praticamente irreversível ao longo do ano hidrológico, podendo ocorrer inversão do fluxo apenas em momentos muito pluviosos e somente nos locais mais aplanados que rodeiam a lagoa.

A qualidade da água da lagoa parece reflectir a qualidade do rio Cértima e, a menor escala, a contribuição dos aquíferos freáticos drenados e da ribeira do Pano. Por outro lado, os processos hidrobiogeoquímicos que predominam na Pateira de Fermentelos e controlam a especiação de elementos influenciam a qualidade da água da lagoa. Determinados processos, como a assimilação por parte da vegetação, a adsorção às partículas argilosas, a complexação com matéria orgânica, a co-precipitação com carbonatos, sulfatos e oxihidróxidos de ferro, parecem contribuir para a atenuação de contaminantes na Pateira de Fermentelos.

A qualidade da água do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona livre e semi-confinada, adjacente à lagoa, parece resultar essencialmente da interacção entre a água da chuva, o solo e os minerais presentes nas formações aquíferas. No entanto os diversos efluentes antrópicos decorrentes das mais diversas actividades são capazes de mascarar, em determinados locais, a assinatura hidroquímica natural do aquífero freático, enquanto o aquífero semi-confinado parece estar relativamente protegido de episódios de contaminação, provavelmente, devido à lenta conexão hidráulica entre o aquífero semi-confinado e o aquífero freático sobrejacente.

**keywords**

Pateira de Fermentelos, lagoon, aquatic ecosystem, recharge, groundwater – surface water interaction, water quality.

**abstract**

Pateira de Fermentelos is a natural lagoon in the Cértima river mouth (Lower Vouga), which supports important aquatic ecosystems. On the west side of this lagoon, the Aveiro Cretaceous groundwater body crops out and has a phreatic to semi-confined behaviour. These cretaceous outcrops belong to the recharge area of this important groundwater body. The existence of such an important wetland like Pateira de Fermentelos in the Aveiro Cretaceous groundwater body's recharge area lead to the necessity of studying in detail the groundwater – surface water interactions between the two water bodies.

Monthly ground and surface water chemical analysis, water levels and spring discharge measurements were used to study the temporal variability of the groundwater – surface water interactions in the study region.

A wider field campaign around Pateira de Fermentelos provided information on the spatial variability of ground and surface water quality, as well as on the configuration of the water table and its relation with the surface water bodies and topography.

The hydrodynamic and hydrochemical data obtained in the different sampling campaigns permit to state that the lagoon and its affluents drain the phreatic aquifer formations that belong to the recharge area of the Aveiro Cretaceous groundwater body. This groundwater flow towards the surface water bodies seems irreversible during the hydrologic year and if any surface water infiltrates in the aquifer, it seems to be related with heavy rain events in lowland areas marginal to the lagoon.

The Pateira de Fermentelos water quality seems to reflect the Cértima river quality and, in a smaller extent, the drained phreatic aquifers and the Pano stream contribution. On the other hand, the hydrobiogeochemical processes that take place in the lagoon and control elements speciation influence the lagoon's water quality. Regarding the chemical and biotic characteristics of Pateira de Fermentelos, some of the most important processes controlling elements speciation may be plant uptake, clay adsorption, organic matter complexation, carbonate, sulphate and iron oxyhydroxides co-precipitation.

The water quality of the phreatic and semi-confined aquifers seems to be the result of rainwater interaction with soil components and the aquifer matrix.

Nevertheless, in some places, the natural hydrochemical signature of the phreatic aquifer is modified by distinct anthropogenic activities, while the semi-confined aquifer seems to be relatively protected from contamination events, mainly due to the slow leakage between the shallow phreatic aquifer and the deeper semi-confined aquifer.

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - Introdução .....	1
1.1. Localização .....	2
1.2. Breve nota histórica .....	3
1.3. Importância das zonas húmidas na qualidade das águas superficiais e subterrâneas..	4
1.4. Âmbito e objectivos .....	6
1.5. Estado de arte.....	7
1.5.1. Pateira de Fermentelos e rio Cértima.....	7
1.5.2. Sistema aquífero Cretácico de Aveiro .....	8
1.6. Metodologia.....	10
CAPÍTULO 2 - Enquadramento Geológico .....	13
2.1. Geologia regional .....	13
2.2. Evolução geológica da Pateira de Fermentelos .....	14
2.3. Geologia local .....	15
2.3.1. Geomorfologia .....	15
2.3.2. Litoestratigrafia .....	17
2.3.3. Tectónica .....	22
CAPÍTULO 3 - Climatologia e Hidrologia .....	25
3.1. Climatologia .....	25
3.2. Análise climática do ano hidrológico 2005/06.....	29
3.3. Balanço hídrico do solo.....	30
3.3.1. Balanço hídrico do solo para um ano de características climáticas médias .....	30
3.3.2. Balanço hídrico do solo para o ano de 2005/06.....	33
3.4. Hidrologia .....	36
3.4.1. Caracterização geométrica das sub-bacias do Cértima e do Águeda .....	37
3.4.2. Litologia das sub-bacias do Cértima e do Águeda.....	38
3.4.3. Uso do solo nas sub-bacias do Cértima e do Águeda .....	39
3.4.4. Caudais dos rios Cértima e Águeda.....	40

3.4.5. Análise de hidrogramas do rio Cértima .....	42
CAPÍTULO 4 - Hidrogeologia .....	47
4.1. Inventário dos pontos de água.....	47
4.2. Formações aquíferas .....	51
4.2.1. Grés grosseiros inferiores.....	53
4.2.2. Formação carbonatada.....	53
4.2.3. Grés micáceos .....	53
4.2.4. Grés grosseiros superiores.....	54
4.3. Piezometria das principais formações aquíferas .....	55
4.3.1. Caracterização da superfície piezométrica .....	55
4.3.2. Evolução da superfície piezométrica ao longo do ano 2005/06 .....	60
4.4. Nível de água das principais massas de água superficial .....	63
4.5. Nascentes e fontes .....	65
4.6. Modelo conceptual do sistema .....	68
4.7. Balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero durante o ano de 2005/06 .....	70
4.7.1. Balanço hídrico do sub-sistema Pateira de Fermentelos .....	73
4.7.2. Balanço hídrico do sub-sistema aquífero freático .....	76
CAPÍTULO 5 - Hidroquímica .....	81
5.1. Amostragem.....	81
5.2. Métodos analíticos .....	85
5.3. Factores modificadores da assinatura hidroquímica .....	85
5.3.1. Factores geológicos.....	85
5.3.2. Factores hidrobiogeoquímicos.....	87
5.3.3. Factores antrópicos .....	93
5.4. Análise e discussão dos resultados.....	96
5.4.1. Caracterização hidroquímica baseada na análise dos parâmetros físico-químicos e distribuição dos elementos maiores.....	96
5.4.2. Estatística aplicada aos resultados da campanha de Abril de 2006.....	101



5.4.3.	Variação temporal das características das águas monitorizadas ao longo de 2005/06 .....	105
5.4.4.	Comparação da qualidade da água com os Decretos-Lei 236/98 e 243/01 .....	119
5.4.5.	Composição em elementos menores e traço .....	121
5.4.6.	Interacções hidrobiogeoquímicas .....	128
CAPÍTULO 6 - Interacções água subterrânea – água superficial .....		139
6.1.	Interacções hidrodinâmicas .....	140
6.2.	Interacções hidroquímicas .....	144
6.3.	Implicações das interacções água subterrânea – água superficial na recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro .....	146
6.4.	Implicações das interacções água subterrânea – água superficial na sustentabilidade do ecossistema associado à Pateira de Fermentelos .....	147
CAPÍTULO 7 - Conclusões e recomendações .....		149
CAPÍTULO 8 - Bibliografia .....		155
ANEXO A - Mapas .....		161
A.1.	Bacia hidrográfica do rio Cértima e respectiva toponímia .....	161
A.2.	Mapa da Zona de Protecção especial da Ria de Aveiro .....	162
A.3.	Mapa tectónico da Pateira de Fermentelos (Dinis, 2004) .....	163
A.4.	Bacias hidrográficas dos rios Cértima e Águeda .....	164
A.5.	Uso do solo nas sub-bacias do rio Cértima e do rio Águeda .....	165
A.6.	Mapas piezométricos em quatro etapas do ano hidrológico .....	166
A.7.	Nascentes inventariadas na área de estudo .....	167
A.8.	Mapa das principais redes viárias .....	168
A.9.	Distribuição dos aniões majoritários .....	169
ANEXO B - Gráficos .....		171
B.1.	Hidrogramas e hietogramas anuais do rio Cértima .....	171
B.2.	Análise da curva de esgotamento do rio Cértima .....	172
B.3.	Evolução do nível freático e do nível da lagoa durante o ano de 2005/06 .....	173
B.4.	Evolução do nível freático durante o ano de 2005/06 (continuação) .....	174

B.5.	Projecção das variáveis e das amostras nos três primeiros planos resultantes da ACP.....	175
B.6.	Variação mensal do azoto inorgânico dissolvido.....	176
B.7.	Índice SAR para as águas superficiais (Abril de 2006) .....	177
ANEXO C - Tabelas .....		179
C.1.	Inventário dos pontos de água.....	179
C.2.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	180
C.3.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	181
C.4.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	182
C.5.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	183
C.6.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	184
C.7.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	185
C.8.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	186
C.9.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	187
C.10.	Inventário dos pontos de água (continuação).....	188
C.11.	Identificação das amostras colhidas na campanha de Abril de 2006.....	189
C.12.	Resultados das análises químicas da campanha de Abril de 2006 .....	190
C.13.	Resultados das análises químicas da campanha de Abril de 2006 .....	191
C.14.	Resultados das análises químicas da campanha de Abril de 2006 .....	192
C.15.	Estatística univariada das águas superficiais – Abril de 2006.....	193
C.16.	Estatística univariada do aquífero freático – Abril de 2006 .....	194
C.17.	Estatística univariada do aquífero semi-confinado – Abril de 2006.....	195
C.18.	Valores mensais dos parâmetros físico-químicos .....	196
C.19.	Concentração mensal dos iões analisados .....	197
C.20.	Comparação da qualidade das águas subterrâneas com os limites impostos para consumo humano .....	198

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Bacia hidrográfica simplificada do rio Vouga e localização dos três concelhos que partilham a Pateira de Fermentelos.....	2
Figura 1.2 – Limite da área de estudo e projecção da toponímia utilizada ao longo deste trabalho.	3
Figura 2.1 - Bacia Lusitânica com enquadramento da área de estudo, a partir de Alves <i>et al.</i> (2002).....	13
Figura 2.2 – Evolução recente da Ria de Aveiro (modificado a partir de Quercus, 2006).....	15
Figura 2.3 – Modelo digital de terreno da zona de estudo, com identificação das principais linhas de água e da geologia envolvente à Pateira de Fermentelos (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998).....	16
Figura 2.4 – Cortes geológicos da Pateira de Fermentelos, evidenciando os distintos aspectos do relevo (localização dos cortes geológicos na Figura 2.5).....	17
Figura 2.5 – Geologia da zona envolvente à Pateira de Fermentelos (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998).....	18
Figura 2.6 – Nódulo rico em óxidos de ferro num afloramento dos “Grés de Eirol”, em Espinhel (autoria: Sena, 2007). ....	19
Figura 2.7 – Pormenor da base dos “Grés de Requeixo” com sedimentos grosseiros a conglomeráticos (autoria: Condesso de Melo, 2005). ....	20
Figura 2.8 – Pormenor do afloramento dos “Grés do Furadouro”, localizado a cerca de 300 m a sul do Bico (Fermentelos), exibindo um acentuado grau de consolidação, com intercalações de areão e areia fina, ambos quartzosos, com alguns restos de carvão (autoria: Sena, 2006). ...	20
Figura 2.9 – Aspecto geral dos “Grés de Oiã” (na Zona Industrial de Oiã), com manchas rosadas ricas em óxidos de ferro e uma zona de maior permeabilidade, com circulação preferencial de água (autoria: Condesso de Melo, 2005).....	21
Figura 2.10 – Afloramento dos “Grés de Eirol” entre Espinhel e Óis da Ribeira, sobre os quais assentam os “Grés de Requeixo” e, sobre o qual, através de uma superfície de erosão, assenta um terraço quaternário (autoria: Sena, 2007). ....	22
Figura 2.11 – Corte geológico evidenciando a tectónica da região (modificado a partir de Dinis, 2004) (localização do corte geológico na Figura 2.5).....	23
Figura 3.1 – Média, máximo e mínimo mensais dos parâmetros climatológicos das estações meteorológicas estudadas. ....	27
Figura 3.2 – Precipitação média mensal acumulada versus evapotranspiração potencial. ....	28

Figura 3.3 – Comparação dos valores médios dos principais parâmetros climáticos (para uma série de 26 anos na estação da Universidade de Aveiro e de 74 anos no posto udométrico de Oliveira do Bairro) com os valores registados nos anos hidrológicos de 2004/05 e 2005/06..	30
Figura 3.4 – Balanço hídrico do solo através do método de Penman-Grindley, utilizando 3 métodos para a estimativa da ETP.....	32
Figura 3.5 – Balanço hídrico do solo para 2005/06, utilizando o método de Penman-Grindley e distintos métodos para a estimativa da ETP.....	35
Figura 3.6 – Rectângulos equivalentes das bacias dos rios Águeda e Cértima (Reis, 2000). .....	38
Figura 3.7 – Molinete e respectivo periférico, utilizados para medição dos caudais de água superficial (autoria: Sena, 2006). .....	41
Figura 4.1 – Projecção do inventário dos pontos de água amostrados mensalmente sobre a geologia da região (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998). .....	49
Figura 4.2 – Interior de um poço (ponto 73 do inventário de pontos de água) que explora os grés triásicos. Legenda: 1 – “Grés de Eirol” (Triásico); 2 – Terraços (Quaternário) e 3 – parede do poço construída com tijolo (autoria: Sena, 2005). .....	52
Figura 4.3 – Fonte da Cilha (ponto 7 do inventário de pontos de água). A fonte da Cilha é uma nascente com infraestrutura associada (constituída por dois poços a 10 m a montante da bica, que induzem a convergência do fluxo subterrâneo e o direccionam para a bica e respectivos tanques, por meio de dois drenos), localizada no Carregal, Requeixo. A – Afloramento dos Grés micáceos. ....	54
Figura 4.4 – Mapa da superfície piezométrica da zona de estudo, em Dezembro de 2005, com a localização dos cortes verticais da superfície piezométrica, tratados neste capítulo.....	56
Figura 4.5 – Corte A : superfície freática em Dezembro de 2005, em torno da Pateira de Fermentelos, Ribeira do Pano e rio Águeda (a localização do corte encontra-se no mapa da Figura 4.4). .....	57
Figura 4.6 – Componentes verticais do fluxo subterrâneo e sua interacção com a topografia. ....	58
Figura 4.7 – Principais direcções de fluxo subterrâneo, das formações aquíferas freáticas, numa zona envolvente à zona de estudo, em Abril de 2006. ....	59
Figura 4.8 – Evolução do nível freático ao longo do ano hidrológico estudado. Corte B: Requeixo-Fermentelos; Corte C: pormenor do Corte B, em Fermentelos (a respectiva localização encontra-se no mapa da Figura 4.4). .....	61
Figura 4.9 – Comparação entre o nível da lagoa e o nível dos poços mais próximos, após um período pluvioso. ....	62

Figura 4.10 – Evolução dos níveis na entrada, saída e a meio da Pateira de Fermentelos. ....	64
Figura 4.11 – Evolução do caudal das nascentes monitorizadas ao longo de 2005/06. ....	66
Figura 4.12 – Nascente de Cruzes (Oiã), a 21 de Abril de 2006. Esta nascente efémera, durante a época húmida, origina um charco de cerca de 1 m de diâmetro que escoia para uma linha de água que, por sua vez é afluente de margem direita da ribeira do Pano. ....	67
Figura 4.13 – Modelo conceptual da Pateira de Fermentelos e sistema aquífero Cretácico de Aveiro. ....	69
Figura 4.14 – Padrão dos afloramentos do aquífero freático (englobando os afloramentos permeáveis do sistema aquífero Cretácico de Aveiro e os terraços quaternários sobrejacentes) drenados pela bacia do rio Cértima e Pateira de Fermentelos. ....	71
Figura 4.15 – Balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero freático, durante o ano hidrológico de 2005/06. ....	79
Figura 5.1 – Célula de fluxo com eléctrodos para medição de parâmetros físico-químicos em águas subterrâneas (neste caso a fonte de Água em Poças, ponto 134 do inventário de pontos de água) (autoria: Sena, 2006). ....	82
Figura 5.2 – Localização dos pontos de água amostrados mensalmente (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998). ....	83
Figura 5.3 – Localização das amostras colhidas na campanha alargada de Abril de 2006 e em Junho de 2006, sobre o mapa geológico da zona da Pateira de Fermentelos (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998). ....	84
Figura 5.4 – Tufo calcário associado a uma nascente efémera no interior de um poço localizado no Carregal, Requeixo (ponto 138 do inventário de pontos de água, Anexos C.1 a C.10) (autoria: Sena, 2006). ....	86
Figura 5.5 – Reciclagem biogeoquímica (adaptado de Berner & Berner, 1996). ....	88
Figura 5.6 – Distintos aspectos das margens dos canais que ligam a Pateira de Fermentelos ao rio Águeda, imediatamente a montante da ponte de Requeixo, em Fevereiro de 2006 (autoria: Sena, 2006). Legenda: 1 – margens cobertas de caniço, durante a fase do ciclo de vida em que a sua actividade biológica está reduzida ao mínimo, devido às baixas temperaturas que se fazem sentir nesta altura do ano e; 2 – margens mobilizadas pelo INAG para alargamento de um dos dois canais de escoamento da Pateira de Fermentelos. Os sedimentos removidos, ricos em restos vegetais reflectem a contribuição das plantas para o aprisionamento de sedimentos e consequente assoreamento da lagoa (autoria: Sena, 2006). ....	89
Figura 5.7 – Aspecto do manto de jacintos em distintas alturas do ano. Novembro de 2005: devido ao facto de o Outono de 2005 não ter sido muito frio, com escassa ocorrência de geadas, o manto de jacintos-de-água permaneceu, até Novembro de 2005, com coloração verde, reflexo	

da actividade biológica. Fevereiro de 2006: com a ocorrência de geadas, o manto de jacintos-de-água adquire cor acastanhada, reflexo da estagnação da actividade biológica, que conduz à decomposição dos tecidos mortos (autoria: Sena, 2006).....	90
Figura 5.8 – Ribeira do Pano em distintas alturas do ano hidrológico. Legenda: 1 – Ribeira do Pano em Setembro de 2006, com o leito seco, exibindo profundas fendas de dessecação (Setembro de 2006); 2 – Ribeira do Pano em Dezembro de 2006, no final de um Outono muito chuvoso, apresentando uma superfície de água livre que cobre quase toda a planície de inundação (Dezembro de 2006) (autoria: Sena, 2006).....	91
Figura 5.9 – Tempo de residência versus taxa das reacções mais comuns nos meios aquáticos (a partir de Langmuir, 1997).....	93
Figura 5.10 – Diagramas de Stiff das amostras analisadas em componentes principais (Legenda da geologia consta no mapa da Figura 5.3). ....	97
Figura 5.11 – Projecção das amostras analisadas no diagrama de Piper.....	99
Figura 5.12 – Distribuição dos aniões maioritários ao longo de uma linha de fluxo, nas três massas de água amostradas: água superficial, aquífero freático e aquífero semi-confinado. ....	101
Figura 5.13 – Projecção das variáveis obtidas na análise em elementos maiores, menores e traço, das amostras colhidas em Abril de 2006, nos três primeiros planos resultantes da ACP. ....	104
Figura 5.14 – Evolução da temperatura atmosférica e da temperatura das três massas de água monitorizadas (água superficial, aquífero freático e aquífero semi-confinado), ao longo de 2005/06. ....	106
Figura 5.15 – Variação da concentração em cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato e da condutividade eléctrica, nos dez pontos de água monitorizados mensalmente, durante o ano 2005/06 (Legenda da geologia na Figura 5.3).....	107
Figura 5.16 – Evolução do teor em oxigénio dissolvido na Pateira de Fermentelos com a profundidade, em Outubro de 2006. ....	111
Figura 5.17 – Variação mensal da concentração em nitrato, nitrito e amónio nas águas superficiais. ....	118
Figura 5.18 – Gráficos de dispersão entre alguns elementos menores, traço e maiores, pH, Eh e condutividade eléctrica.....	124
Figura 5.19 – Índices de saturação das espécies com ferro versus potencial redox (área a sombreado corresponde à zona de equilíbrio com as fases minerais). ....	129
Figura 5.20 – Índices de saturação da calcite e de alguns minerais silicatados versus a pressão parcial do dióxido de carbono (área a sombreado corresponde à zona de equilíbrio com as fases minerais). ....	130

Figura 5.21 – Relação entre a concentração em nitratos e a pressão parcial do dióxido de carbono. .....	133
Figura 5.22 – Condutividade eléctrica versus concentração em nitrato. Recta de regressão aplicada apenas às águas do aquífero freático. ....	134
Figura 6.1 – Comparação das direcções de fluxo dominantes na bacia do rio Cértima e no sistema aquífero Cretácico de Aveiro.....	140
Figura 6.2 – Evolução da profundidade do nível freático relativamente à superfície topográfica ao longo do ano hidrológico 2005/06 e principais direcções de fluxo subterrâneo na zona da Pateira de Fermentelos.....	143

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Balanço hídrico ao nível do solo, para um ano com parâmetros climáticos médios. .	31
Tabela 3.2 – Balanço hídrico ao nível do solo para o ano de 2005/06.....	34
Tabela 3.3 – Principais características geométricas das sub-bacias dos rios Cértima e Águeda...	37
Tabela 3.4 – Percentagem das distintas unidades geológicas nas bacias do Cértima e do Águeda. .....	39
Tabela 3.5 – Áreas ocupadas pelos distintos tipos de uso do solo nas bacias do Águeda e do Cértima (a partir do mapa CORINE LAND COVER 2000, em Instituto de Ambiente, 2005). ..	40
Tabela 3.6 – Altura hidrométrica, secção de vazão e caudal do rio Cértima, à entrada e à saída da Pateira de Fermentelos, em distintas alturas do ano hidrológico 2005/06. ....	42
Tabela 3.7 – Coeficiente de esgotamento da bacia da Pateira de Fermentelos. ....	43
Tabela 3.8 – Volumes de água subterrânea armazenados acima do nível de drenagem e respectiva taxa de drenagem, para diferentes períodos de fraca pluviosidade. ....	44
Tabela 4.1 – Volume das perdas de água potável e água residual das redes de distribuição e drenagem dos concelhos intersectados pela área do aquífero freático. 1 – Dados obtidos de INE, 2003. ....	77
Tabela 5.1 – Minerais da fracção inferior a 38 µm presentes nas formações geológicas (a partir de Rocha, 1993). ....	87
Tabela 5.2 – Espécies químicas efluentes das principais actividades desenvolvidas na área de estudo (adaptado de Berner & Berner, 1996 e de Adriano, 2001). ....	95
Tabela 5.3 – Estatística univariada aplicada aos parâmetros físico-químicos das dez amostras analisadas mensalmente. ....	109
Tabela 5.4 – Sequência das principais reacções redox que ocorrem nas zonas húmidas (a partir de Stumm & Morgan, 1981, Adriano, 2001 e Schlesinger, 1997). ....	111
Tabela 5.5 – Estatística univariada aplicada aos resultados das análises mensais em cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato, nitrito e amónio dos dez pontos de água monitorizados.....	114
Tabela 5.6 – Principais fases em que se distribuem os metais (a partir de Gambrell, 1994).....	122
Tabela 5.7 – Factores de diluição e de atenuação de contaminantes na Pateira de Fermentelos. .....	136



## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

(3.1) .....	33
(3.2) .....	43
(3.3) .....	44
(4.1) .....	73
(5.1) .....	132

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A Pateira de Fermentelos é uma lagoa natural que faz parte de uma importante zona húmida localizada entre Aveiro e Águeda. Corresponde à parte terminal do rio Cértima, imediatamente a montante da confluência deste com o rio Águeda, que por sua vez é afluente de margem esquerda do rio Vouga. A origem da Pateira de Fermentelos deve-se por um lado à configuração da zona terminal do rio Cértima, com uma extensa planície aluvial cercada por elevações que estrangulam a passagem do rio Cértima antes de este desaguar no rio Águeda e por outro lado, deve-se à acção do Homem, que ao longo dos tempos permitiu a expansão da superfície de água livre, conduzindo à configuração actual desta lagoa.

A área ocupada pelo espelho de água da Pateira de Fermentelos varia, segundo a época do ano, entre cerca de 3 km<sup>2</sup> na época seca e cerca de 9 km<sup>2</sup> na época húmida, em situações de cheia cuja duração depende da frequência e intensidade das precipitações. Ao longo do ano hidrológico, a profundidade média da lagoa é de 2 m. A topografia do fundo da lagoa é relativamente homogénea, com uma altitude média de 2 m, encontrando-se a zona mais a montante do fundo da lagoa a 3.7 m de altitude e a zona mais a jusante a 2.4 m de altitude<sup>1</sup>. Em 1980, trabalhos de dragagem dos sedimentos do fundo da Pateira de Fermentelos, originaram um sulco orientado NW-SE, aproximadamente paralelo ao comprimento da lagoa, existente entre as margens de Fermentelos e de Óis da Ribeira, onde o fundo da lagoa assume cotas de 2.1 a 2.4 m (Caldeira, com. oral, 2006).

Do ponto de vista geológico, a Pateira de Fermentelos está rodeada por formações gresosas do Triásico, Cretácico e Neogénico. Os grés cretácicos que afloram na zona a Oeste da Pateira de Fermentelos são parte integrante da zona de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, que constitui uma reserva de água estratégica para toda a região do Baixo Vouga, actualmente caracterizada por elevada densidade populacional e intensa actividade agrícola e industrial (Marques da Silva, 1990).

A recarga deste importante sistema aquífero está limitada à área de afloramento das formações cretácicas permeáveis, contígua à Pateira de Fermentelos. Devido ao facto de as formações cretácicas permeáveis aflorarem numa pequena área (cerca de um terço da área do sistema aquífero), face à dimensão do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, a recarga deste importante sistema aquífero está fortemente condicionada pelos diversos tipos de actividades que se possam desenrolar sobre a limitada zona de recarga (Marques da Silva, 1990 e Condesso de Melo, 2002).

---

<sup>1</sup> Ao longo deste trabalho será aplicado o ponto como separador decimal, devido à necessidade de recorrer a programas informáticos que apenas aceitam o ponto como separador decimal.

A existência de uma zona húmida tão importante como a Pateira de Fermentelos, na zona de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, considerado estratégico para toda a região do Baixo Vouga, conduziu à necessidade de estudar em detalhe as relações água subterrânea – água superficial, com o objectivo de averiguar as suas implicações nos mecanismos de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro e na sustentabilidade dos ecossistemas associados à Pateira de Fermentelos.

## 1.1. Localização

A Pateira de Fermentelos localiza-se na região de Aveiro, no NE de Portugal, a 20 km da linha de costa, entre os paralelos 40°29'N e 40°36'N e os meridianos 8°36'W e 8°28'W. A Pateira de Fermentelos situa-se no Baixo Vouga, correspondendo ao extremo norte da bacia hidrográfica do rio Cértima, um afluente de margem esquerda do rio Águeda, que por sua vez é afluente de margem esquerda do rio Vouga.

A zona de estudo ocupa uma área de cerca de 180 km<sup>2</sup> em torno da Pateira de Fermentelos e abrange parte dos concelhos de Aveiro, Águeda e Oliveira do Bairro (Figura 1.1 e Anexo A.1).

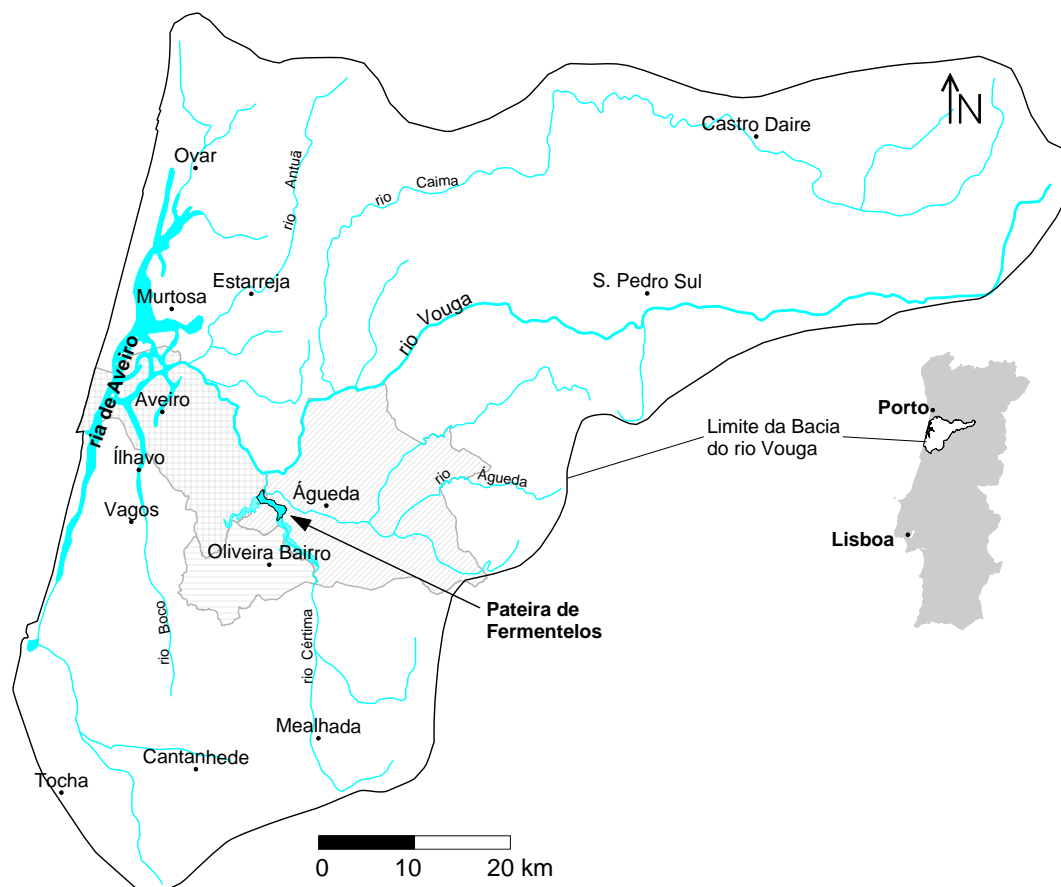


Figura 1.1 – Bacia hidrográfica simplificada do rio Vouga e localização dos três concelhos que partilham a Pateira de Fermentelos.

Os limites da área de estudo foram definidos tendo em conta o limite da bacia do rio Cértima, na sua parte terminal, onde se localiza a Pateira de Fermentelos e o padrão dos afloramentos das formações cretácicas permeáveis em torno da lagoa. A área de estudo abrange diversas freguesias e locais pertencentes aos três concelhos que rodeiam a Pateira de Fermentelos. A projecção da toponímia destes locais no mapa da área de estudo (Figura 1.2), permite uma melhor associação entre o nome de determinado local abordado ao longo deste trabalho e a sua posição geográfica. O sistema de coordenadas utilizado ao longo deste trabalho corresponde ao sistema UTM, fuso 29 e Datum Europeu 1950.

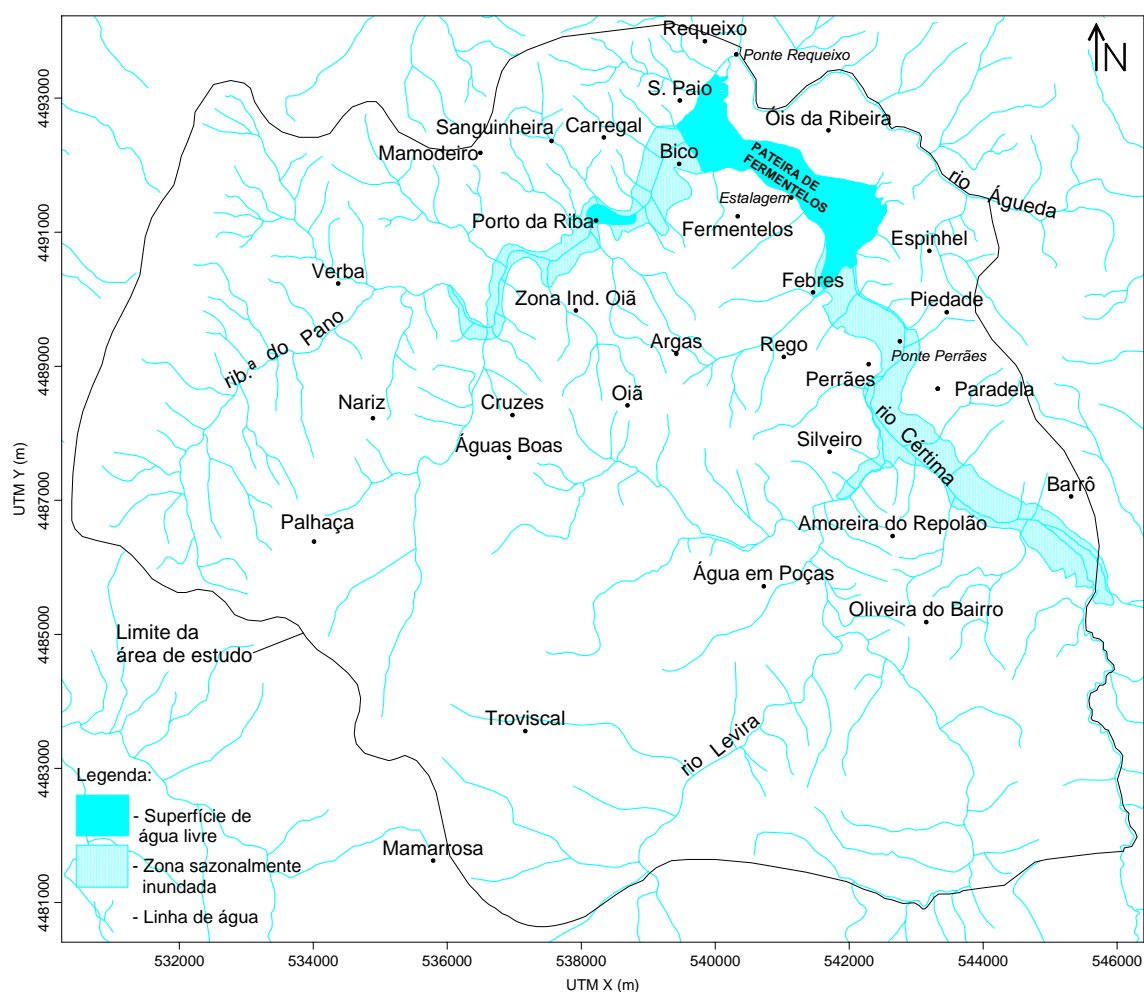


Figura 1.2 – Limite da área de estudo e projecção da toponímia utilizada ao longo deste trabalho.

## 1.2. Breve nota histórica

A Pateira de Fermentelos tem sofrido profundas modificações paisagísticas ao longo dos tempos, quer devido à sua evolução natural, quer devido à acção do Homem, cujas descrições se

encontram reflectidas em diversos textos escritos ao longo do tempo sobre a região da Pateira de Fermentelos.

Segundo Andrade (1922, *in* Serviço Nacional de Parques, 1988), “...o vale do *Cértima*, naquele ponto (antes da confluência com o rio *Águeda*) era dantes terreno firme, coberto por espessos arvoredos, por entre os quais o rio mansamente deslizava”.

Morais (1922, *in* Serviço Nacional de Parques, 1988) cita um excerto de uma carta do almoxarife de Aveiro a D. Manuel (finais do séc. XV) onde consta que a “Mata de Perrães”, situada no Baixo *Cértima*, hoje parcialmente inundada pela Pateira de Fermentelos e arrozais de Perrães (Figura 1.2 e Anexo A.1), “sempre fora coutada para nela se colherem porcos e veados, era apaulada e que, se fosse arroteada<sup>2</sup> daria proveito...”.

A configuração actual da lagoa começou a formar-se na Idade Média, provavelmente após o século XV (Serviço Nacional de Parques, 1988), devido à acção conjugada das cheias do *Cértima*, à dificuldade de escoamento da água, como consequência da acumulação de sedimentos do rio *Águeda* no ponto de confluência com o rio *Cértima* e, mais tarde, devido também, às dragagens e recolha de moliço para posterior fertilização dos terrenos agrícolas que pouco a pouco se foram instalando na planície aluvial do baixo *Cértima*.

A manutenção da área da lagoa e contenção do avanço do pântano deve-se, portanto, à acção conjugada da Natureza, através do aporte natural de água, sedimentos e nutrientes e, às actividades antrópicas, como a agricultura drenante nas margens da lagoa, as dragagens e a recolha de moliço (Serviço Nacional de Parques, 1988). Actualmente, a recolha do moliço é quase inexistente devido à modificação das práticas agrícolas e, provavelmente, devido também à ocupação da lagoa por espécies infestantes como o jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes*) e a erva-pinheirinha (*Myriophyllum sp.*) que rapidamente se tornaram as espécies dominantes.

A mudança drástica da flora dominante, a recolha cada vez mais escassa de plantas aquáticas, a ausência de dragagens, o abandono dos terrenos agrícolas marginais, como consequência da emigração iniciada em 1950, a substituição do adubo orgânico (à base de moliço) por fertilizantes químicos, a existência de actividades pecuárias com deficiente tratamento de efluentes e a industrialização do vale do *Cértima*, poderão comprometer a manutenção da paisagem actual, transformando a Pateira de Fermentelos num pântano.

### **1.3. Importância das zonas húmidas na qualidade das águas superficiais e subterrâneas**

A Pateira de Fermentelos, conjuntamente com as planícies de inundação adjacentes, foi definida como uma zona húmida pertencente à Zona de Protecção Especial (ZPE) da Ria de Aveiro

---

<sup>2</sup> Arrotear – desbravar (a terra) para ser cultivada.

(Decreto-Lei 384-B/99, de 23 de Setembro). Esta ZPE corresponde a uma área (Anexo A.2) de importância comunitária onde são aplicadas medidas para a manutenção e/ou restabelecimento do estado de conservação das populações de determinadas espécies de aves selvagens (Decreto-Lei 140/99, de 24 de Abril, Anexo A.2).

As zonas húmidas são, segundo a convenção Ramsar, áreas de sapal, paúl, turfeira ou água, naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, podendo incluir zonas ribeirinhas ou costeiras a elas adjacentes, como ilhéus ou massas de água marinha (Ramsar, 2005). As zonas húmidas apresentam diversas características importantes, não só a nível ambiental como também sócio-cultural, das quais se destacará, nesta secção, aquelas que directa ou indirectamente influenciam a quantidade e qualidade da água superficial.

Às zonas húmidas está sempre associada uma vegetação ripícola muito importante para a manutenção da quantidade e qualidade da água, quer devido à sua capacidade de retenção da carga sólida e água, abrandando o fluxo superficial e mitigando a ocorrência de cheias a jusante; quer devido à capacidade de retenção do excesso de nutrientes provenientes de terrenos agrícolas e águas residuais domésticas, bem como na retenção de metais provenientes de diversas actividades, das quais se destacam pelo seu impacto, as actividades industriais (Gilliam, 1994).

As distintas espécies ripícolas têm uma capacidade de remoção dos nitratos transportados em solução pela escorrência superficial, antes de esta atingir as massas de água superficial adjacentes, que pode atingir os 99%. Os principais mecanismos que contribuem para a remoção do excesso de nitrato são a (1) desnitrificação, que consiste na redução do ião nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em azoto gasoso ( $\text{N}_2$ ) ou óxido de azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ) por bactérias existentes no solo e (2) a absorção de nitrato pelas plantas (Gilliam, 1994). No entanto, a desnitrificação é capaz de remover o azoto do sistema, enquanto a assimilação do azoto pelas plantas apenas o remove temporariamente, pois quando estas morrem e se decompõem devolvem o azoto, anteriormente absorvido, ao sistema sob a forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) e amónio ( $\text{NH}_4^+$ ). Este último, em solução, pode ser oxidado para  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  (Berner & Berner, 1996 e Hanson *et al.*, 1994).

Outro bom exemplo do impacto das zonas húmidas na qualidade da água é a retenção de fósforo, que ocorre, maioritariamente, através da assimilação por parte da vegetação, co-precipitação de oxihidróxidos amorfos (onde o fósforo é facilmente desorvido), óxidos cristalinos de ferro e alumínio (mais estáveis) e minerais de cálcio e magnésio (praticamente indisponíveis para assimilação biológica). O fósforo assimilado pelas plantas pode ser devolvido ao sistema da mesma forma que o azoto (Reddy *et al.*, 1995).

Nas áreas sazonalmente inundadas, muitas vezes associadas a zonas húmidas, os processos de oxidação-redução e as oscilações do pH, que ocorrem como consequência dessa sazonalidade do regime hidrológico, afectam a mobilização dos metais por argilas, matéria orgânica e óxidos de

ferro. Os solos ricos em finos e matéria orgânica, abundantes nas zonas húmidas de baixo hidrodinamismo, como é o caso da Pateira de Fermentelos, tendem a acumular metais contaminantes (Gambrell, 1994).

Determinadas plantas aquáticas existentes nas zonas húmidas, das quais se destaca o jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes*) pela sua exuberância na zona de estudo, desempenham um papel importante na remoção do excesso de nutrientes e de metais. Devido a esta capacidade manifestada por diversas espécies aquáticas, têm surgido inúmeros estudos sobre a sua capacidade de absorção e acumulação de nutrientes e metais, bem como a sua utilização no tratamento de efluentes domésticos e industriais (Vesk & Allaway, 1997; DeBusk *et al.*, 1995; Sinkala *et al.*, 2002; Maine, *et al.*, 2006, entre outros).

No caso de estudo, a Pateira de Fermentelos é uma lagoa parcialmente assoreada, cuja evolução depende em grande parte da intervenção humana e que, apesar dos diversos impactos antrópicos de que é alvo, parece manter-se relativamente oligotrófica e com baixas concentrações em metais. A manutenção do relativo oligotrofismo da Pateira de Fermentelos parece estar relacionada com diversas causas, como a escassez de dragagens e a ausência da recolha de moliço nos últimos anos, mitigando assim, a mobilização de metais e nutrientes retidos nos sedimentos da zona hiporreica<sup>3</sup> da lagoa, podendo no entanto, acelerar o processo natural de assoreamento. Por outro lado, a presença de plantas como o caniço (*Phragmites australis*), jacintos-de-água, erva-pinheirinha, entre outras, parece contribuir também, para o abrandamento da eutrofização e retenção dos metais transportados pelos principais afluentes. Segundo Borrego *et al.*, 1995, enquanto se mantiver a população de macrófitas aquáticas, devido à sua capacidade de absorção de nutrientes, a lagoa tende a manter-se oligotrófica. No entanto, diversos estudos realizados recentemente na Pateira de Fermentelos e na bacia do rio Cértima têm revelado uma progressiva degradação da qualidade das águas superficiais, decorrente de actividades pecuárias, agrícolas, domésticas e industriais, das quais se destacam as metalúrgicas pela sua relativa abundância na bacia do rio Cértima (Reis, 2000, Cerqueira *et al.*, 2004, Maria *et al.*, 2006 e Ahmad *et al.*, 2006).

#### 1.4. Âmbito e objectivos

O presente trabalho constitui a dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geoquímica e tem como objectivo a identificação e caracterização dos principais fluxos de água superficial (rio Cértima e ribeira do Pano) e de água subterrânea (sistema aquífero Cretácico de Aveiro) na zona da Pateira de Fermentelos, de forma a:

- (1) avaliar o grau de interdependência das massas de água superficial e subterrânea;

---

<sup>3</sup> Zona hiporreica é a zona de transição entre a água subterrânea e a água superficial, normalmente constituída pelos sedimentos transportados pelas massas de água superficial.

- (2) criar um modelo conceptual da zona de estudo e quantificar os principais fluxos de água, através do respectivo balanço hídrico;
- (3) averiguar de que forma o significativo rebaixamento dos níveis piezométricos da zona confinada do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, provocado pela bombagem intensiva, poderá afectar o nível freático na zona envolvente à lagoa;
- (4) identificar as implicações da relação entre as duas massas de água nos processos de recarga do sistema aquífero e;
- (5) identificar os principais mecanismos responsáveis pelo quimismo da água na Pateira de Fermentelos.

## 1.5. Estado de arte

### 1.5.1. Pateira de Fermentelos e rio Cértima

Nos últimos quinze anos têm sido realizados diversos estudos sobre a Pateira de Fermentelos, principalmente do ponto de vista da sua ecologia. Em 1991, Calado *et al.*, realizaram um estudo sobre as algas da Pateira de Fermentelos numa situação de Inverno, tendo concluído que o impacto de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, bem como a introdução de espécies alóctones na Pateira de Fermentelos conduziram a uma deterioração da qualidade da água, acelerando o processo de eutrofização e ameaçando a saúde dos organismos associados a esta zona húmida.

Borrego *et al.* (1995), realizaram a caracterização das principais plantas existentes na Pateira de Fermentelos, avaliando a vulnerabilidade e capacidade de atenuação das suas águas. Estes autores verificaram que a flora de macrófitos aquáticos desempenha um papel fundamental na evolução do ecossistema aquático da Pateira de Fermentelos, contendo o avanço natural do pântano e, mantendo a água da lagoa relativamente oligotrófica. A remoção de macrófitos por dragagem, realizada no final da década de 1980, conduziu a uma deterioração considerável da qualidade da água, tendo originado *blooms* de microalgas.

Em 2000, Reis identificou as condicionantes hidrogeológicas e antrópicas que contribuem para a mobilização de elementos poluentes nos rios Águeda e Cértima, tendo constatado que a proximidade de focos de contaminação é um factor determinante para o estado de degradação da qualidade dos sedimentos, reflectindo a rápida adsorção e complexação dos metais em determinados constituintes dos sedimentos, reduzindo assim a concentração de metais na fase aquosa. Nos sedimentos, as concentrações mais elevadas em elementos poluentes foram identificadas em ambientes de baixo hidrodinamismo, ricos em sedimentos finos e matéria orgânica, cuja proporção é muito maior na sub-bacia do rio Cértima do que na sub-bacia do rio Águeda. A autora detectou ainda que, apesar dos teores médios em metais poluentes serem mais



elevados nos sedimentos do rio Cértima (com excepção do cobre), é nos sedimentos do rio Águeda que os metais se encontram em maior proporção sob a forma potencialmente disponível, concluindo assim, que o rio Cértima apresenta menor contaminação em metais. A assinatura química das águas superficiais da sub-bacia do rio Cértima reflecte também reacções de alteração química de rochas carbonatadas e silicatadas, para além da contaminação agrícola, urbana e industrial.

Cerqueira *et al.* (2005) avaliaram a qualidade físico-química da água superficial da bacia do rio Cértima em distintos períodos do ano de 2003. Os autores detectaram que, durante a Primavera, a qualidade das águas superficiais é aceitável e que, noutras alturas do ano, imediatamente a jusante da Mealhada, devido à descarga de águas residuais domésticas e à escorrência de águas residuais pecuárias, a qualidade da água superficial está muito deteriorada, encontrando-se em incumprimento perante os objectivos de qualidade mínima das águas superficiais definidos pela legislação portuguesa em vigor. Estas descargas parecem ser a principal causa para o enriquecimento das águas superficiais em nutrientes, nas zonas mais distais da bacia do rio Cértima e, portanto, poderão causar impactos significativos na evolução trófica da Pateira de Fermentelos.

Almeida (2006) realizou um estudo na Área de Projecto do ensino secundário que incidiu na avaliação da qualidade da água da Pateira de Fermentelos e na participação e aquisição de informação por parte dos alunos envolvidos. Neste estudo, a autora verificou uma elevada concentração em estreptococos totais e uma concentração considerável em coliformes fecais na água da Pateira de Fermentelos. A autora verificou ainda que numa tina com jacintos-de-água, no final do período de análise, a concentração em fosfato, cloreto e a dureza da água diminuíram, enquanto a concentração em nitrato e sulfato se manteve. Ainda neste trabalho, verificou-se que a taxa de crescimento da biomassa de jacintos-de-água é maior numa água constituída por 50 % de água da Pateira de Fermentelos e 50 % de água engarrafada, do que em água 100 % da Pateira de Fermentelos ou 100 % engarrafada.

Maria *et al.* (2006) avaliaram as respostas genotóxicas<sup>4</sup> da enguia (*Anguilla anguilla* L.) na Pateira de Fermentelos, tendo concluído que esta lagoa apresenta substâncias genotóxicas e que o grau de genotoxicidade diminui de montante para jusante na lagoa.

### **1.5.2. Sistema aquífero Cretácico de Aveiro**

Saraiva *et al.* (1982) definiram a litologia das formações hidrogeológicas cretácicas da região de Aveiro, bem como os traços gerais da sua geometria. Neste trabalho, foram determinadas gamas de valores de transmissividade e do coeficiente de armazenamento. Constatou-se que tanto os xistos que afloram a Este dos sedimentos cretácicos, como a estrutura de afunilamento destes em

---

<sup>4</sup> Genotoxicidade – Toxicidade que afecta o DNA. Substâncias genotóxicas são aquelas que actuam directa ou indirectamente sobre o DNA, causando mutações que podem induzir o cancro (Greenfacts, 2006).

direcção ao mar, funcionam como barreiras negativas. Identificou-se um aumento da mineralização da água do sistema aquífero Cretácico de Aveiro com a profundidade. Ao verificarem o rebaixamento acentuado dos níveis piezométricos, Saraiva *et al.* (1982) recomendaram um controlo sistemático dos mesmos e alertaram para que, durante a execução de captações, não se ultrapassasse uma unidade guia, abaixo da qual há um aumento acentuado da mineralização das águas.

Peixinho de Cristo (1985) realizou um estudo abrangente do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, calculando volumes de recarga e descarga do sistema, e verificando que a existência de intercalações argilosas e de uma cobertura muito pouco permeável na maior parte da área do sistema aquífero dificultam a sua recarga. O autor verificou também, um notável aumento dos volumes de extracção para fins industriais e municipais que, conjugados com a lenta e difícil recarga do sistema, induziram um acentuado e gradual rebaixamento dos níveis piezométricos. Neste trabalho, foi realizada uma descrição geral das características hidroquímicas do sistema.

Marques da Silva (1990) definiu o modelo geométrico e principais direcções de fluxo do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, classificando-o de multicamada. Foram definidas, também, as superfícies piezométricas em regime natural, ligeiramente inclinada para o mar e, a superfície influenciada pela extracção, bem como o funcionamento hidráulico regional e a distribuição espacial das fácies hidroquímicas, identificando fácies bicarbonatadas cálcicas e calco-sódicas na zona de recarga, tornando-se cada vez mais cloretado-sódicas para o litoral. A partir de análises isotópicas, o mesmo autor identificou águas mais jovens na zona oriental e mais antigas na zona ocidental do sistema aquífero. Através do estudo de sondagens para captação de água subterrânea foram definidas camadas guia que permitem identificar o conjunto aquífero principal. O autor alertou para a importância do sistema aquífero como reserva de água estratégica para a região do Baixo Vouga.

Oliveira (1997) investigou a capacidade de troca catiónica (CTC) de três níveis argilosos presentes na sequência sedimentar cretácica, concluindo que os valores de CTC são bastante homogéneos nos três níveis argilosos, ocorrendo alguma discrepância local, devida provavelmente à influência de minerais carbonatados. O abrandamento das águas do sistema aquífero, ao longo das linhas de fluxo, pode dever-se a processos de *flushing*, que consiste na expulsão de águas marinhas congénitas, acompanhada de intercâmbio de bases.

Carreira (1998) realizou o estudo das paleoáguas de Aveiro, concluindo que o sistema aquífero Cretácico de Aveiro está isolado do sistema aquífero Quaternário e que o primeiro não revela qualquer indício de intrusão marinha, apesar da inversão do fluxo observada no litoral norte. A autora constata que as águas do sistema estão subsaturadas em calcite, dolomite e gesso, com ligeiro aumento dos respectivos índices de saturação segundo o sentido de fluxo subterrâneo. Foram detectadas águas com 18000 anos na região central da bacia, que se terão infiltrado

durante o último máximo glacial, quando o nível do mar – situado entre 100 a 130 m abaixo do nível actual – induziu um aumento do gradiente hidráulico e favoreceu a recarga do sistema.

No âmbito do projecto *PALAEAUX*, Condesso de Melo *et al.* (2001) determinaram a distribuição de paleoáguas no sistema aquífero Cretácico de Aveiro, bem como o seu significado paleoambiental e o seu potencial como reserva estratégica de água.

O nível base de qualidade da água do sistema aquífero Cretácico de Aveiro foi definido no âmbito do projecto *Baseline - Natural Baseline Quality in European Aquifers: A Basis for Aquifer Management* (Condesso de Melo *et al.*, 2003), permitindo identificar zonas onde determinadas condições da água são naturais e outras onde a degradação da sua qualidade se deve a fenómenos de contaminação.

Marques da Silva (1990) e Condesso de Melo (2002) verificaram o rebaixamento acentuado da superfície piezométrica devido ao aumento da extracção de água subterrânea a partir dos anos 60, originando duas depressões importantes: uma na zona central do sistema aquífero, com cotas abaixo do nível do mar e outra na região noroeste onde se observa inversão do fluxo natural. Condesso de Melo (2002) afirmou que, apesar da rápida recuperação dos níveis piezométricos verificada a partir de 1997, devido à redução do caudal de bombagem por parte de alguns municípios, os níveis voltaram a descer, obrigando a restrições quanto ao licenciamento de captações por parte do INAG, através da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região Centro (CCDR-Centro, 2005).

Condesso de Melo (2002) alargou a área de estudo do sistema aquífero para sul de Vagos e identificou uma redução da transmissividade das camadas mais permeáveis do sistema aquífero, na zona onde afloram, comprometendo a recarga efectiva do mesmo. A autora constatou que a descarga do aquífero se dá principalmente através da bombagem, para além da descarga natural para o mar, através de nascentes localizadas na zona freática e para a Pateira de Fermentelos e zonas húmidas adjacentes. Neste trabalho, foi ainda determinada a recarga actual do aquífero que parece variar temporal e espacialmente. O estudo hidrogeoquímico do aquífero revelou três partes distintas: uma zona de recarga com águas recentes, uma zona intermédia com águas gradualmente menos oxidantes e de idade holocénica a pré-industrial e uma terceira zona com águas redutoras, datadas do Plistocénico superior- Holocénico inferior. Neste trabalho foi realizado um modelo matemático de fluxo e foi realizada a modelação da evolução hidrogeoquímica do sistema aquífero ao longo da principal direcção de fluxo. As conclusões confirmam a falta de sustentabilidade da exploração actual dos recursos hídricos subterrâneos.

## 1.6. Metodologia

A selecção da metodologia para o presente estudo teve por base os objectivos propostos e, incluiu a monitorização mensal de dados climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos da

área envolvente à Pateira de Fermentelos e principais linhas de água. Estes dados foram tratados, interpretados e relacionados de forma a contribuírem para um conhecimento integrado (hidrobiogeoquímico) da zona de estudo.

A monitorização mensal da piezometria decorreu no ano hidrológico de 2005/06, tendo-se iniciado em Outubro de 2005, numa área inicial de cerca de 20 km<sup>2</sup> em torno da Pateira de Fermentelos. Em Dezembro de 2005 e depois de analisar os primeiros resultados, foi decidido alargar a área de monitorização para 80 km<sup>2</sup>, com o objectivo de identificar algumas divisórias de água e apurar direcções de fluxo subterrâneo. Finalmente, em Fevereiro de 2006, mantendo os limites definidos em Dezembro de 2005, foram incluídos poços para medição do nível freático nas zonas junto às principais linhas de água e nos bordos da lagoa, permitindo identificar as diferenças, por vezes centimétricas, entre o nível de água da lagoa e o nível freático, perfazendo um total de 112 pontos de água monitorizados mensalmente.

O acompanhamento mensal da evolução hidroquímica das águas superficiais e subterrâneas na zona de estudo, iniciou-se em Novembro de 2005 e foi realizado durante um ano em 10 pontos de amostragem (incluídos nos 112 pontos monitorizados mensalmente): 4 pontos na lagoa, 1 ponto na entrada da lagoa (rio Cértima – ponte de Perrães), 1 ponto na saída da lagoa (rio Cértima – ponte de Requeixo), 1 poço, 1 fonte e 2 furos. Analisou-se mensalmente em laboratório o teor em sulfatos, nitratos, cloretos, nitritos e amónio. No campo foram medidos o pH, Eh, temperatura, condutividade eléctrica, concentração em oxigénio dissolvido e alcalinidade.

Em Abril de 2006 realizou-se uma campanha de caracterização hidrogeoquímica mais detalhada, com uma área de medição de níveis piezométricos de 150 km<sup>2</sup> e, uma área de amostragem de águas superficiais e subterrâneas em 28 locais de colheita (inserida na área de 150 km<sup>2</sup>), para posterior análise química de elementos maiores, menores e traço.

A projecção dos locais de amostragem do nível freático, do nível das águas superficiais, do caudal das nascentes e dos locais onde foram colhidas amostras de águas para posterior análise dos parâmetros físico-químicos, foi feita recorrendo ao programa ArcView®, onde se georreferenciaram as cartas militares 1:25000, números 185, 186, 196 e 197, que abrangem a área de estudo, utilizando o sistema de coordenadas UTM, fuso 29, Datum Europeu, 1950. Neste programa foi ainda vectorizada informação relativa à rede hidrográfica, à altimetria e à rede viária que atravessa a área de estudo. No programa Surfer®, foi processada a informação georreferenciada no programa ArcView®, de forma a construir os diversos mapas temáticos que se apresentam ao longo deste trabalho.

O processamento da informação obtida através dos resultados das análises físico-químicas realizadas às distintas águas amostradas ao longo deste trabalho, foi feito através do Microsoft Office® e a criação dos diversos gráficos gerados a partir da informação processada foi feita nos programas Grapher® e Easy Quim 4®. Foi ainda utilizado o programa Phreeqci®, para a realização da especiação de elementos nas água analisadas.

Em Outubro de 2006, foi realizada em colaboração com a UNAVE, uma campanha para determinar com elevada precisão a cota de 23 dos pontos de água subterrânea e superficial usados na monitorização mensal de níveis. No âmbito desta campanha, recorreu-se à utilização de um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS), que permitiu melhorar a comparação dos níveis de água subterrânea com os níveis de água superficial, nos locais onde a diferença entre ambos pode ser, em determinadas alturas do ano, centimétrica.

Em Janeiro, Fevereiro, Maio e Julho de 2006, foram realizadas campanhas de medição dos caudais do rio Cértima à entrada e à saída da Pateira de Fermentelos, recorrendo ao método do molinete, em colaboração com a CCDR-Centro.

## CAPÍTULO 2

### ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A caracterização geológica da área de estudo visa a descrição e enquadramento regional das formações geológicas presentes na área de estudo, com especial ênfase na formação e evolução geológica da Pateira de Fermentelos. No que respeita à geologia local, descreve-se a geomorfologia, litologia e tectónica, como elementos condicionadores da hidrogeologia e hidrologia.

#### 2.1. Geologia regional

A Pateira de Fermentelos localiza-se no extremo norte da Bacia Lusitânica (Figura 2.1), próximo do contacto entre as formações mesocenozóicas da bacia e os xistos paleozóicos do soco. A Bacia Lusitânica corresponde a um fosso alongado segundo a direcção NNE-SSW originado em regime distensivo durante o Mesozóico, onde se depositaram sedimentos detríticos e carbonatados que compensaram a subsidência ocorrida (Kullberg *et al.*, 2000). Os sedimentos detríticos continentais foram alimentados pelo Maciço Hespérico e por uma área situada a Oeste, testemunhada pelo arquipélago das Berlengas. Os sedimentos marinhos, que dominam a sequência desta bacia, foram depositados em ambiente litoral e de mar profundo, registando as oscilações eustáticas que se traduzem por variações laterais de fácies e de espessura (Ribeiro *et al.*, 1979).

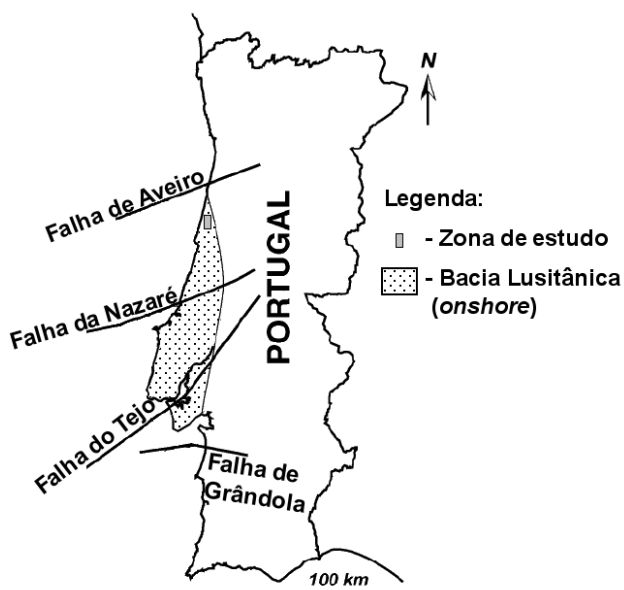


Figura 2.1 - Bacia Lusitânica com enquadramento da área de estudo, a partir de Alves *et al.* (2002).

A área de estudo, por se encontrar perto do bordo norte da Bacia Lusitânica e, consequentemente ter sido raramente inundada durante o Mesozóico, é predominantemente constituída por sedimentos detríticos continentais, que reflectem curtos períodos de invasão do mar mesozóico, em contraste com as zonas mais centrais da bacia, onde longos períodos de imersão mesozóica permitiram a formação de espessas sequências carbonatadas.

A Bacia Lusitânica exhibe um estilo tectónico com falhas de distintas direcções, que reflectem o rejogo pós-hercínico de fracturas tardi-hercínicas. Ao longo destas fracturas as camadas sedimentares estão fortemente deformadas, enquanto no interior dos blocos delimitados por estas fracturas as deformações são menos evidentes, caracterizadas por dobras de grande raio de curvatura (Ribeiro *et al.*, 1979). A área em estudo localiza-se no extremo Norte de um destes blocos, delimitado pelas falhas de Aveiro e da Nazaré (Figura 2.1), onde se observa um basculamento generalizado das camadas cretácicas para W e NW (Teixeira & Zbyszewski, 1976).

## **2.2. Evolução geológica da Pateira de Fermentelos**

A origem e evolução das bacias cenozóicas, onde se inclui a Bacia do rio Vouga, assentes sobre os sedimentos mesozóicos da Bacia Lusitânica, está associada às fases pirenaica e bética da orogenia alpina e à deformação interna que afectou a microplaca ibérica (Vegas & Banda, 1982 e Anadón *et al.*, 1989 *in* Cunha & Reis, 1995).

Durante o Quaternário, depositaram-se, no Baixo Vouga, extensas planícies aluviais e areias marinhas e eólicas. A regressão gradual ocorrida durante o Quaternário baixou o nível de base do rio Vouga, conduzindo ao encaixe da rede hidrográfica e erosão parcial dos terraços, cujos testemunhos se preservam no topo aplanado das elevações mesozóicas que caracterizam todo o Baixo Vouga (Barbosa, 1981).

A formação da Pateira de Fermentelos, ocorrida durante o Quaternário, parece estar inicialmente associada a uma secção especialmente deprimida de um sistema fluvial plistocénico (Dinis, 2004). Em seguida, durante o Holocénico, a sua evolução parece relacionar-se com a evolução a Ria de Aveiro que, em termos geomorfológicos, não constitui uma ria, mas antes um sistema laguna ilha-barreira (Figura 2.2). Durante a transgressão flandriana, no lugar desta laguna existia um golfo onde confluíam os rios Vouga, Águeda e Cértima (Girão, 1922 e Souto, 1923, *in* Dinis, 2004).

Mais recentemente, nomeadamente antes do século X, na zona onde hoje se espraia a planície aluvial da Ria de Aveiro, existia uma baía localizada entre Espinho, a Norte, e o Cabo Mondego, a Sul, que mais tarde deu origem à configuração actual da Ria de Aveiro, através da deposição de areias, com formação de cordões dunares litorais e de um sistema de ilhas no interior da laguna. A diminuição da influência marinha e o progressivo assoreamento da laguna conduziram ao isolamento da Ria de Aveiro em relação ao mar. No entanto, em 1808, os trabalhos de engenharia efectuados no cordão dunar que separava a laguna do mar permitiram a manutenção de uma

barra e a comunicação artificial com o mar, marcando o fim de um processo de evolução natural desta laguna (Quercus, 2006). A Pateira de Fermentelos era, num passado recente, um dos inúmeros braços da Ria de Aveiro que se estendiam para o interior.

Ao longo da evolução da Pateira de Fermentelos, os seus limites foram condicionados pelas variações do nível do mar, afluxo de detritos e, sobretudo pelo jogo tectónico que provocou um basculamento generalizado para SW (Dinis, 2004).

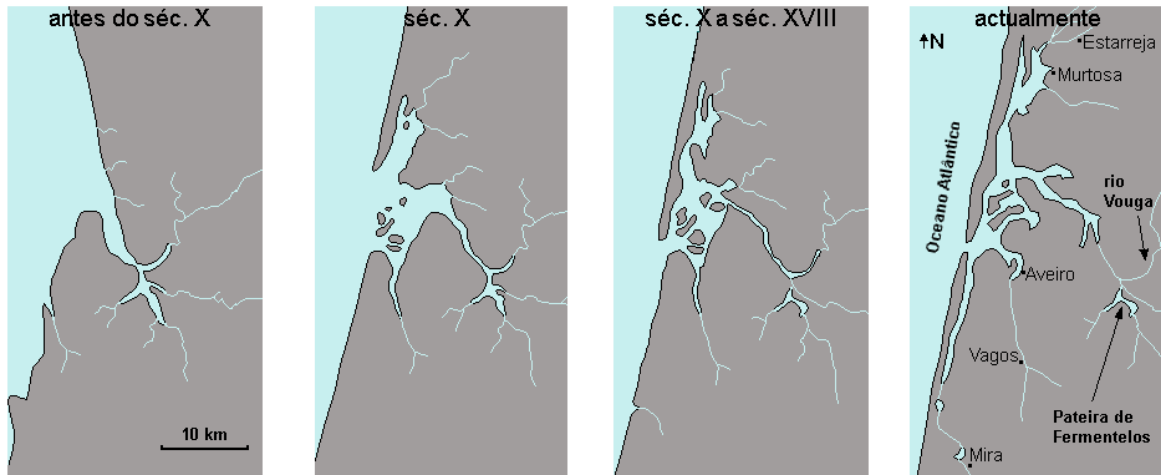


Figura 2.2 – Evolução recente da Ria de Aveiro (modificado a partir de Quercus, 2006).

## 2.3. Geologia local

A Pateira de Fermentelos está cercada por afloramentos de rochas sedimentares detríticas, fundamentalmente continentais, de idade cretácica a Oeste, Norte e Sul e do Triásico a Este. No topo aplanado das elevações mesozóicas afloram terraços neogénicos (Figura 2.3). O fundo dos vales está coberto por aluviões essencialmente lodosos e silto-argilosos que, no vale do Cértima exibem zonas com areias e areões bem calibrados (Barbosa, 1981 e Teixeira & Zbyszewski, 1976).

A forma e posição da Pateira de Fermentelos estão relacionadas com uma depressão alongada, de 12 km, que se estende desde Aguada de Baixo até Eirol. O traçado sinusoidal da Pateira de Fermentelos revela um forte controlo estrutural, condicionado, particularmente, por estruturas NW-SE e NE-SW, que se cruzam com outras grosseiramente N-S (Dinis, 2004).

### 2.3.1. Geomorfologia

A região do Baixo Vouga, onde se localiza a Pateira de Fermentelos, é caracterizada por elevações de topo aplanado de baixa altitude, muitas vezes cobertas por terraços fluviais e marinhos do Quaternário. O encaixe da rede hidrográfica erodiu os terraços quaternários, pondo a



descoberto, nas vertentes e fundo dos vales, as unidades mesozóicas do Cretácico e Triásico (Figura 2.3).

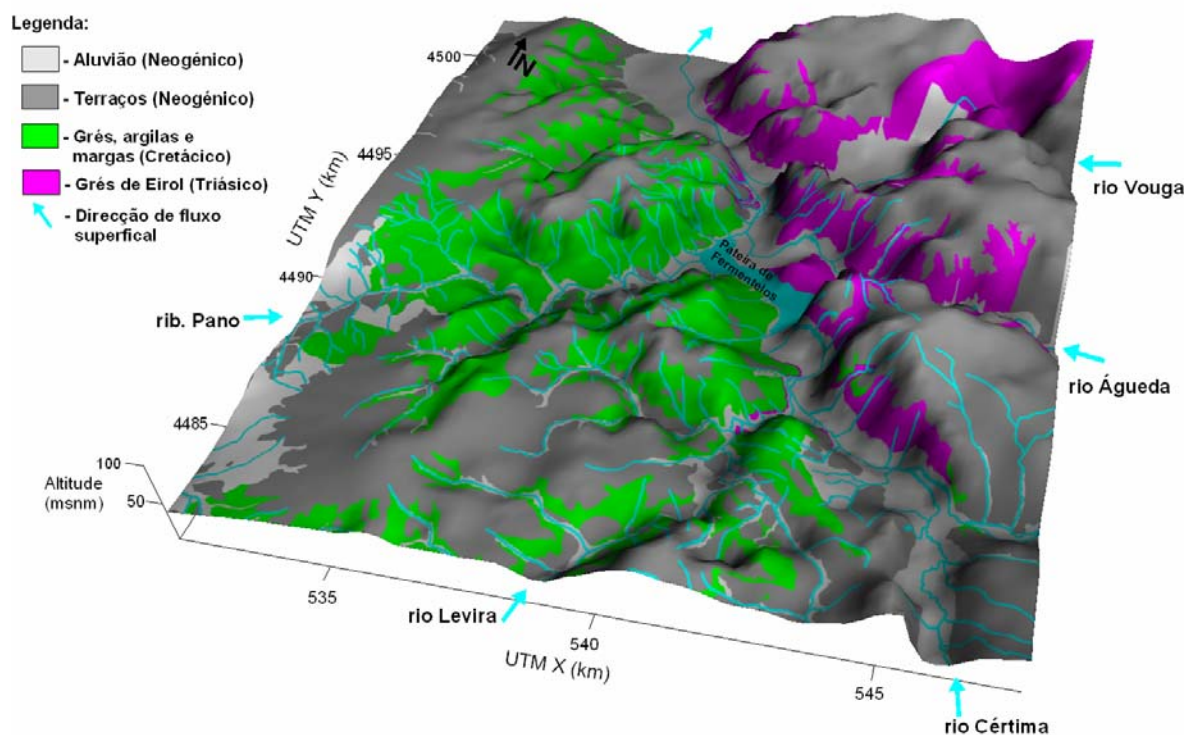


Figura 2.3 – Modelo digital de terreno da zona de estudo, com identificação das principais linhas de água e da geologia envolvente à Pateira de Fermentelos (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998).

Os relevos que rodeiam a Pateira de Fermentelos exibem geometria distinta conforme a sua litologia (Figura 2.4). A Este da lagoa, na zona de Espinhel, a vertente onde afloram os arenitos triásicos, é íngreme e escarpada (com uma inclinação média de 15 %), contactando directamente ou através de uma estreita faixa aluvial com a lagoa. O topo destas elevações triásicas está coberto por terraços quaternários que originam aplanções, entre os 73 e os 55 m de altitude. Em direcção a Óis da Ribeira, os relevos triásicos descem gradualmente de cota, originando uma suave vertente voltada a NNW que termina numa extensa planície aluvial, separando a Pateira de Fermentelos do rio Águeda.

Na zona de Requeixo predominam os relevos mais esculpidos pelo encaixe da rede hidrográfica, de vertentes mais suaves (com inclinação média de 10 %), com linhas de água bem entalhadas que desembocam na lagoa e na ribeira do Pano. Estes relevos culminam entre os 65 e 77 m de altitude, onde afloram terraços quaternários.

A zona de Fermentelos é aquela onde se sente com menor intensidade o desnível entre a lagoa e as elevações que a cercam. A vertente de Fermentelos exhibe o declive mais suave, com uma inclinação média de cerca de 2 %.

As principais linhas de água tributárias da Pateira de Fermentelos são o rio Cértima e a ribeira do Pano cujos vales apresentam fundo aplanado e parcialmente assoreado. Nas respectivas zonas de desembocadura ambas as linhas de água originam uma área pantanosa de terrenos argilosos movediços, inundável na época húmida e propícia ao cultivo do arroz, actividade que ainda hoje se pratica na lezíria do rio Cértima, na zona de Oliveira do Bairro.

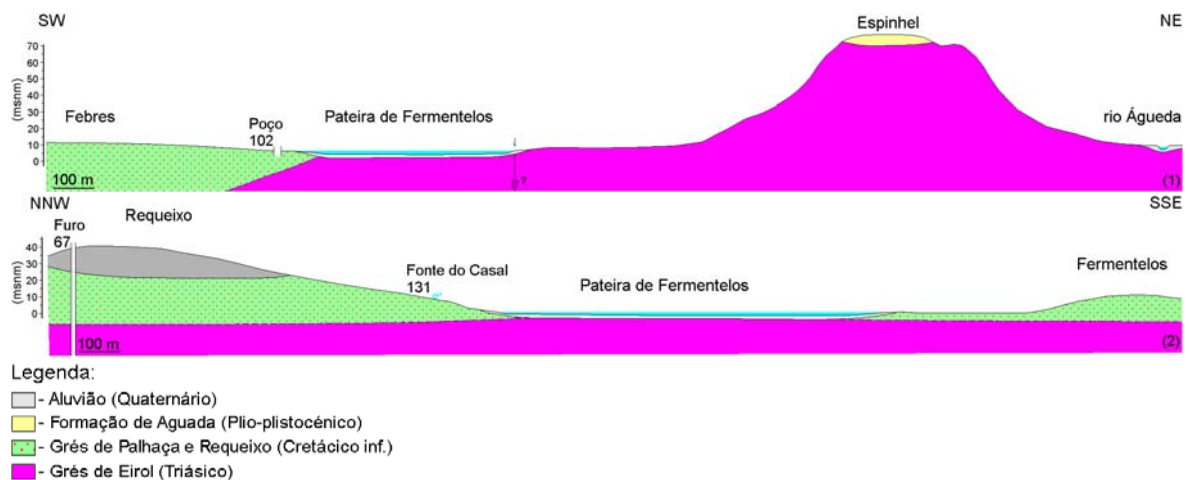


Figura 2.4 – Cortes geológicos da Pateira de Fermentelos, evidenciando os distintos aspectos do relevo (localização dos cortes geológicos na Figura 2.5).

### 2.3.2. Litoestratigrafia

Os terrenos que envolvem a Pateira de Fermentelos são constituídos por sedimentos triásicos, cretácicos e neogénicos. A sequência mesozóica, por se encontrar essencialmente em estrutura monoclinar mergulhando suavemente para WNW, exhibe afloramentos de unidades progressivamente mais recentes, de Este para Oeste (Figura 2.5).

Nesta subsecção, para além dos sedimentos triásicos, cretácicos e neogénicos que afloram na área de estudo, também se descreve a litologia dos sedimentos jurássicos, uma vez que estes foram intersectados, em profundidade, por algumas captações de água subterrânea executadas na zona de estudo e, afloram a montante da zona de estudo, na bacia do rio Cértima.

A sequência litoestratigráfica dos sedimentos mesocenozóicos existentes na zona de estudo (Figura 2.5) é constituída, da base para o topo, pelas seguintes unidades (Barbosa, 1981, Ribeiro *et al.*, 1979, Teixeira & Zbyszewski, 1976, Rocha & Gomes, 1995, Marques da Silva, 1990 e observações de campo):

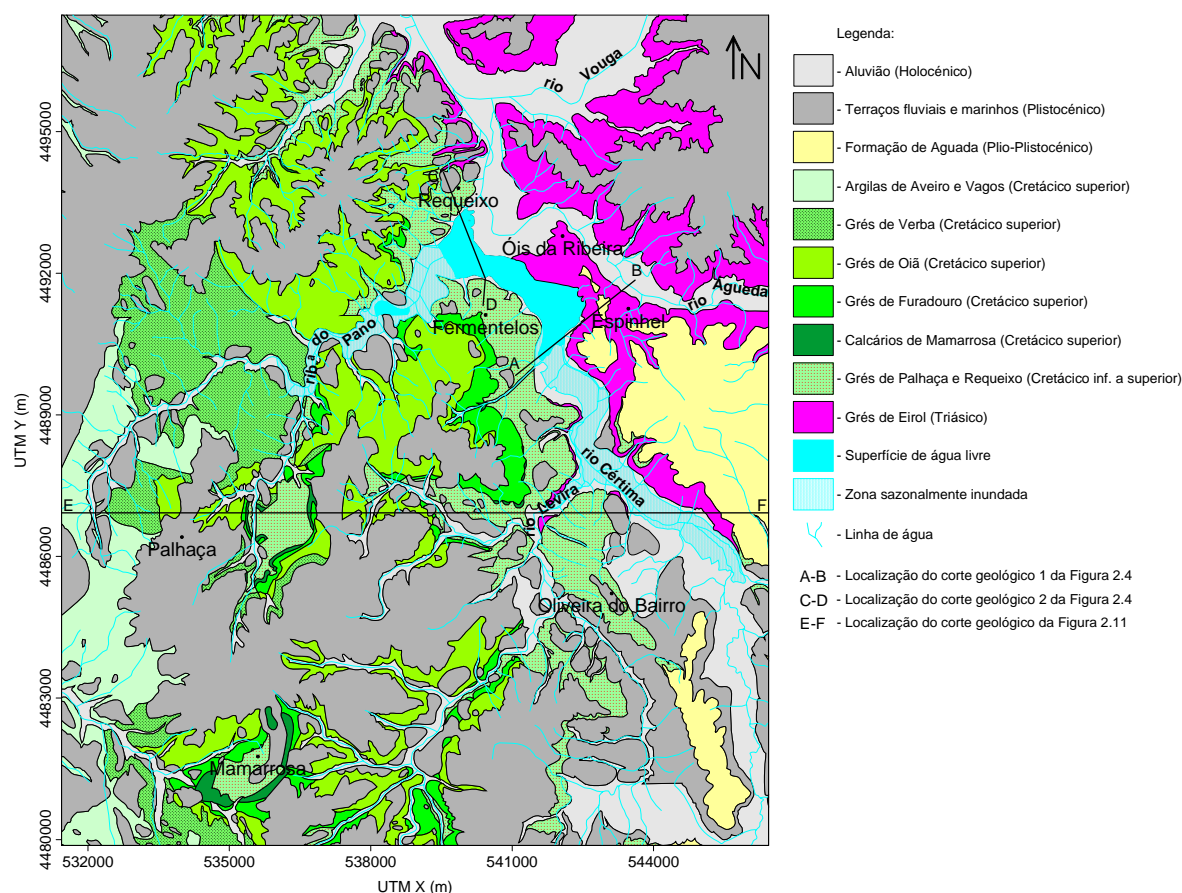


Figura 2.5 – Geologia da zona envolvente à Pateira de Fermentelos (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998).

▪ “Grés de Eirol” (Triásico). Os “Grés de Eirol” afloram a Este da Pateira de Fermentelos, nas vertentes de margem esquerda da lagoa e do rio Cértima, desde Óis da Ribeira, Espinhel, até Barrô e, numa estreita faixa na zona de Perrães. Esta formação assenta em discordância sobre o substrato paleozóico e é constituída por arenitos bem consolidados que, na base podem exhibir fácies conglomerática. Predominam os clastos de quartzo e o cimento de cor avermelhada intensa, que é rico em óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 2.6). Esta formação torna-se gradualmente mais fina para o topo, onde é bem visível a sua estratificação, em geral N40°W, 10 a 15°SW (Figura 2.10). Os grés triásicos depositaram-se em ambiente continental, de clima quente e húmido a semi-árido. Nos afloramentos da área de estudo observam-se espessuras superiores a 20 m.

▪ Calcários, margas e dolomitos jurássicos. Esta litologia não aflora na área de estudo, no entanto, como foi referido anteriormente, é intersectada por diversas captações na zona de Fermentelos e aflora na bacia do rio Cértima, a montante da zona de estudo. Os sedimentos jurássicos assentam discordantes sobre o substrato paleozóico ou sobre os arenitos triásicos. São constituídos essencialmente por calcários, margas e calcários compactos dolomitizados, com macro e microfósseis. Estes sedimentos depositaram-se em ambiente marinho pouco profundo,

sujeito à influência continental e, em ambiente marinho profundo, longe das influências continentais, proporcionando a sedimentação de fósseis piritosos.



Figura 2.6 – Nódulo rico em óxidos de ferro num afloramento dos “Grés de Eirol”, em Espinhel (autoria: Sena, 2007).

- “Grés da Palhaça” e “Grés de Requeixo” (Cretácico inferior a superior). Estas unidades, lateralmente equivalentes entre si, afloram na zona de Requeixo e Fermentelos e, nas estruturas empoladas de Palhaça e Mamarrosa. Por serem lateralmente equivalentes, optou-se por utilizar, neste trabalho, somente a designação de “Grés de Requeixo”, quando se referir alguma destas unidades. Os “Grés de Requeixo” assentam em discordância quer sobre os grés triásicos quer sobre os calcários jurássicos, dispostos em sequência positiva e constituídos por grés grosseiros a conglomeráticos na base (Figura 2.7), que se vão tornando mais finos para o topo. As areias e seixos são predominantemente de quartzo, ocorrendo alguns clastos de feldspato. A matriz argilosa é dominada pela caulinite, com camadas ricas em goetite. A sequência positiva destes grés reflecte o início da transgressão cenomaniana. A sua espessura varia de 60 a 100 m.

- “Calcários de Mamarrosa” e “Calcários e argilas cinzentas do Carrajão” (Cretácico superior). Na zona de estudo, a maior mancha de afloramentos contínuos desta unidade localiza-se na Mamarrosa, ocorrendo também, em estreitas faixas nas zonas da Palhaça e de Oliveira do Bairro. Esta formação é constituída por calcários, margas e calcários gresosos, exibindo no topo, um nível de margas negras com concreções calcárias. Por vezes exhibe moldes de microfósseis marinhos. Na fracção argilosa há enriquecimento em ilite e esmectite em detrimento da caulinite. Esta unidade nem sempre está presente na sequência litoestratigráfica, sendo substituída pelos “Grés do Furadouro”. A sua espessura varia de 5 a 10 m.





Figura 2.7 – Pormenor da base dos “Grés de Requeixo” com sedimentos grosseiros a conglomeráticos (autoria: Condesso de Melo, 2005).

▪ “Grés do Furadouro” (Cretácico superior). Esta unidade aflora numa faixa alongada NW-SE, entre Fermentelos e Oliveira do Bairro, ocorrendo também numa pequena mancha na zona da Mamarrosa e, localmente no fundo dos vales de algumas linhas de água. Os “Grés do Furadouro” são constituídos por arenitos grosseiros a médios, relativamente bem calibrados, de sequência negativa (Figura 2.8). Na base e no tecto há, quase sempre, a ocorrência de níveis micáceos cinzentos a negros, que servem de camadas guia aquando da perfuração para captações de água subterrânea (Marques da Silva, 1990).



Figura 2.8 – Pormenor do afloramento dos “Grés do Furadouro”, localizado a cerca de 300 m a sul do Bico (Fermentelos), exibindo um acentuado grau de consolidação, com intercalações de areão e areia fina, ambos quartzosos, com alguns restos de carvão (autoria: Sena, 2006).

O quartzo hialino predomina na fracção arenosa, enquanto a caulinite predomina na fracção argilosa. O cimento dos “Grés do Furadouro”, essencialmente silicioso, confere na maioria dos afloramentos um fraco grau de consolidação, no entanto, a cerca de 300 m a sul do Bico (Fermentelos) observa-se um afloramento desta unidade com acentuado grau de consolidação. A presença de restos vegetais reflecte o ambiente continental em que esta unidade se depositou (Figura 2.8). A matriz argilo-siltosa, de cor esbranquiçada, é rica em moscovite. A sua espessura varia de 10 a 20 m.

- “Grés de Oiã” (Cretácico superior). Os “Grés de Oiã” afloram na sub-bacia da ribeira do Pano, na zona de Mamodeiro e Oiã, bem como na sub-bacia do rio Levira e na zona da Mamarrosa. Os “Grés de Oiã” são constituídos, na base, por grés finos argilosos ricos em grãos de quartzo róseo e argilas micáceas com restos de matéria orgânica, passando gradualmente, a grés grosseiro arcósico e quartzo-argiloso, de cor amarelada e acinzentada, com manchas avermelhadas ricas em óxidos de ferro (Figura 2.9), onde se destaca a goetite. A caulinite é o mineral argiloso dominante. Para o topo os “Grés de Oiã” vão-se tornando mais finos. A sua espessura varia de 30 a 50 m.



Figura 2.9 – Aspecto geral dos “Grés de Oiã” (na Zona Industrial de Oiã), com manchas rosadas ricas em óxidos de ferro e uma zona de maior permeabilidade, com circulação preferencial de água (autoria: Condesso de Melo, 2005).

- “Grés de Verba” (Cretácico superior). Os “Grés de Verba” afloram na zona mais a montante da sub-bacia da ribeira do Pano, na zona de Verba. Os “Grés de Verba” exibem uma fácies grosseira, mal calibrada na base, carregando-se de argila para o topo. Têm cor esbranquiçada, apresentando, na base, manchas avermelhadas com grãos de feldspato alterado e de quartzo hialino e róseo. A fracção argilosa é rica em esmectite. A sua espessura varia de 30 a 50 m.

- “Arenitos e Argilas de Aveiro e Vagos” (Cretácico superior). Os “Arenitos e Argilas de Aveiro e Vagos” afloram a Oeste da Palhaça, numa faixa alongada aproximadamente N-S, que se estende desde Palhaça até Mamarrosa. Esta formação é constituída por argilas esverdeadas e avermelhadas com intercalações arenosas e/ou de camadas calcárias dolomíticas. Na fracção argilosa predomina a ilite e por vezes a montmorilonite, enquanto na fracção silto-arenosa predomina o quartzo. A sua espessura varia de 100 a 200 m.
- Terraços fluviais e marinhos (Plio-pleistocénico). Os terraços afloram de forma descontínua em toda a área de estudo e correspondem quer a praias antigas, constituídas por areias e areões com seixos bem rolados, com fraca espessura, por vezes inferior a 1 m; quer a terraços fluviais com espessuras mais importantes, atingindo 5 m de espessura na zona de Espinhel, contendo cascalheiras envoltas numa matriz silto-argilosa de cor amarelada (Figura 2.10).
- Aluviões (Holocénico). Os aluviões da ribeira do Pano e rio Cértima são de natureza silto-argilosa, com bastante matéria orgânica. Os aluviões do rio Cértima exibem, localmente, sedimentos mais grosseiros, com areias, areões e algum seixo de quartzo e quartzito, geralmente bem calibrados.

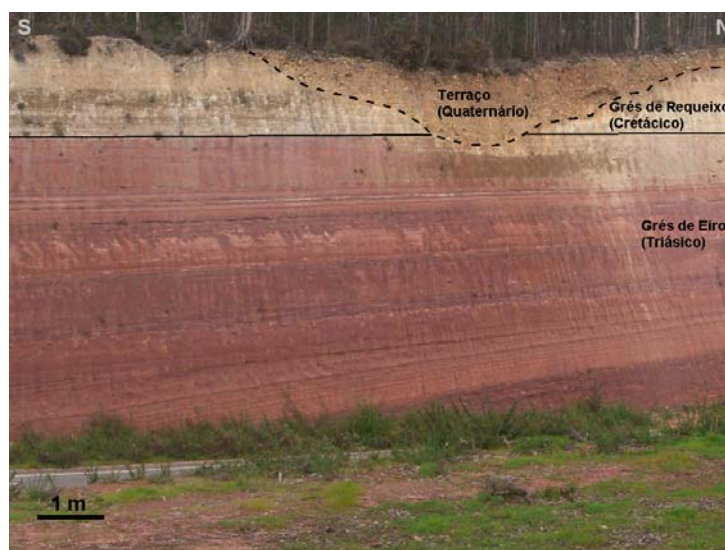


Figura 2.10 – Afloramento dos “Grés de Eirol” entre Espinhel e Óis da Ribeira, sobre os quais assentam os “Grés de Requeixo” e, sobre o qual, através de uma superfície de erosão, assenta um terraço quaternário (autoria: Sena, 2007).

### 2.3.3. Tectónica

Na zona de estudo, as camadas sedimentares mesozóicas estão dispostas, de forma geral, em estrutura monoclinial, mergulhando entre 10 a 15° para WSW. As falhas que intersectam a sequência mesozóica apresentam predominantemente movimento vertical, das quais algumas são consideradas apenas prováveis. Estas falhas, que afectam toda a sequência cretácica, estão

normalmente associadas a estruturas ligeiramente levantadas, com dobramentos pouco acentuados (Figura 2.11), como são as estruturas de Mamarrosa e Palhaça (Barbosa, 1981).

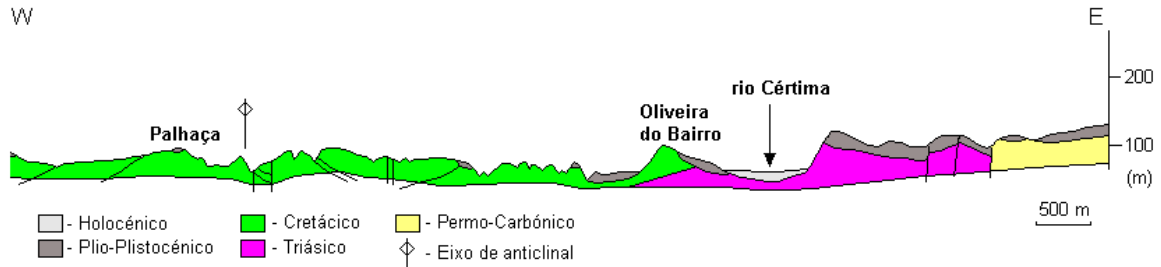


Figura 2.11 – Corte geológico evidenciando a tectónica da região (modificado a partir de Dinis, 2004) (localização do corte geológico na Figura 2.5).

O alinhamento estrutural Palhaça-Mamarrosa-Febres separa duas áreas com dobramentos distintos: uma a Este onde as camadas formam sinclinais e anticlinais e outra a Oeste onde se observa uma basculamento generalizado para WNW (Dinis, 2004).

O vale do rio Cértima aproveita um *graben* a Oeste do Maciço Hespérico, orientado N-S a NW-SE, que se estreita significativamente para Sul. É limitado a Este por falhas inversas e a Oeste por fracturas norteadas, interceptadas por outras, de direcções variáveis entre NW-SE a NE-SW (Dinis, 2004).

Os limites NW e SE da Pateira de Fermentelos coincidem com estruturas NE-SW conjugadas num *graben* transversal ao percurso do rio Cértima (Anexo A.3), constituindo um sector especialmente deprimido do vale do Cértima. A transição da Pateira de Fermentelos para o rio Águeda está condicionada pelo jogo de falhas NW-SE, com subida dos blocos SW e NE (Dinis, 2004).



## **CAPÍTULO 3**

### **CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA**

A hidrologia é um aspecto fundamental para o estudo das relações água subterrânea – água superficial, na medida em que aporta informação sobre a distribuição e regime hidrodinâmico das massas de água superficial.

No âmbito deste capítulo descreve-se o clima da região, como factor condicionador do regime hidrodinâmico superficial e subterrâneo. Os dados climáticos permitem, também, realizar o balanço hídrico do solo, o balanço hídrico da Pateira de Fermentelos e do sistema aquífero Cretácico de Aveiro na zona onde é freático e drenado pela Pateira de Fermentelos e respectiva rede hidrográfica.

No final do capítulo traçam-se também as linhas gerais da hidrologia da região, aspecto fundamental no estudo das relações água subterrânea – água superficial.

#### **3.1. Climatologia**

O clima, caracterizado por diversos parâmetros, como sejam a precipitação, a temperatura, o vento, a humidade e a radiação solar, é um aspecto de grande importância quando se abordam questões hidrológicas e hidrogeológicas como é exemplo o presente estudo. O clima irá influenciar o escoamento superficial e a evapotranspiração, que por sua vez condicionam a taxa de infiltração e subsequente recarga do aquífero e da Pateira de Fermentelos.

Nesta secção procede-se à caracterização geral do clima, com referência às médias mensais e aborda-se, com maior detalhe, o clima do ano hidrológico 2005/06 que constitui o período no qual se desenrola o estudo das relações água subterrânea – água superficial, da região da Pateira de Fermentelos.

As diversas variáveis meteorológicas desempenham um papel importante no clima, hidrologia e hidrogeologia da região, influenciando directa e indirectamente a quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

A precipitação é tida como a origem de toda a água que circula neste sistema, constituído por: aquífero freático; lagoa e linhas de água que a alimentam. Deste modo, o volume de precipitação ocorrida diariamente condiciona o volume de água que contribui para a recarga das distintas massas de água e, portanto, o respectivo volume de água armazenado e transferido entre elas.

A temperatura influencia a taxa de evapotranspiração a partir da superfície de água livre da lagoa e a partir da zona radicular dos terrenos envolventes que cobrem o aquífero, proporcionando uma

saída importante no primeiro e limitando o volume de água capaz de se infiltrar e recarregar o segundo.

O vento, com direcção e intensidade variáveis, influencia a direcção de propagação das nuvens e poeiras, condicionando deste modo, a ocorrência de precipitação e o quimismo desta. Ao arrastar poeiras, aerossóis marinhos e resíduos gasosos provenientes das mais diversas actividades humanas, o vento contribuirá para a incorporação de sais na água da chuva.

O vento é também um factor de primordial importância na taxa de evapotranspiração, pois só o vento pode renovar a massa de ar que recebe o vapor, impedido que se atinja a tensão saturante e posterior condensação, promovendo assim a ocorrência de evaporação (Arnáiz, 2001).

A humidade atmosférica, quantidade de vapor de água contido no ar, é por um lado a fonte de água das precipitações e, por outro lado, reduz a taxa de evapotranspiração. Para o cálculo do balanço hídrico interessa a humidade relativa que corresponde à relação entre a tensão de vapor num dado momento e a tensão saturante, para a mesma temperatura, a partir da qual ocorre condensação (Arnáiz, 2001).

A radiação solar é o motor da evaporação e portanto é um dos parâmetros mais importantes para o cálculo do balanço hídrico.

A mineralização da água é, também, um factor condicionador da taxa de evaporação, pois quanto mais mineralizada for a água menor será a taxa de evaporação, para as mesmas condições de temperatura e humidade relativa (Arnáiz, 2001).

A transpiração é o mecanismo biológico através do qual as plantas transferem água (no estado líquido) da zona radicular do solo para a atmosfera (sob a forma de vapor). Todos os factores climáticos anteriormente mencionados afectam a taxa de transpiração, quer seja pelos mecanismos físicos mencionados para a evaporação, quer seja pela influência que exercem na abertura dos estomas (Arnáiz, 2001).

Na caracterização climática da área de estudo utilizaram-se dados de precipitação, registados no período de 1932 a 2006, provenientes do posto udométrico localizado em Oliveira do Bairro (542925 m E, 4485000 m N), que pertence à rede meteorológica do INAG, sendo o local com dados pluviométricos mais próximo da área de estudo. Os valores de temperatura, velocidade do vento a 6 m do solo, radiação solar e evaporação a partir da tina, registados no período de 1980 a 2006, provêm da estação meteorológica da Universidade de Aveiro (528775 m E, 4498375 m N), que é a estação mais próxima da área de estudo. A humidade relativa foi obtida a partir da estação meteorológica de S. Jacinto, que constitui o local mais próximo da área de estudo onde consta uma série de dados com esta variável (Figura 3.1).

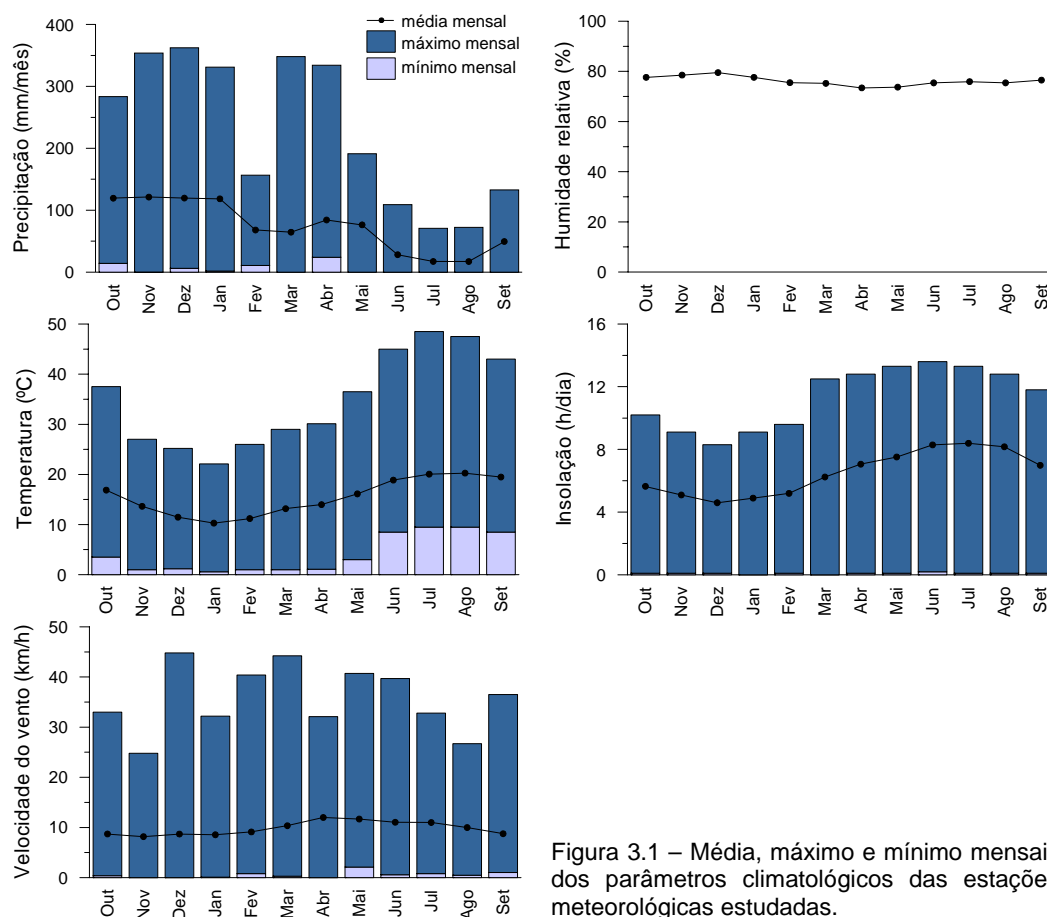


Figura 3.1 – Média, máximo e mínimo mensais dos parâmetros climatológicos das estações meteorológicas estudadas.

Os dados de precipitação mensal acumulada do posto udométrico de Oliveira do Bairro revelam, para o período analisado de 74 anos, a existência de três meses muito pluviosos – Novembro, Dezembro e Janeiro, com médias de precipitação mensal acumulada de 140 a 158 mm, contrastando com os meses de Junho, Julho e Agosto, onde a média da precipitação mensal acumulada toma valores abaixo dos 40 mm. Os picos de precipitação ocorrem nos meses de Novembro e Dezembro, onde se registaram precipitações de 480 e 540 mm, respectivamente.

Os dados de humidade relativa, provenientes da estação de S. Jacinto, revelam uma homogeneidade acentuada ao longo do ano, com valores entre os 75 e os 80 % de humidade relativa. Os meses mais secos são Abril e Maio, enquanto os meses mais húmidos coincidem com os mais pluviosos.

A variação anual da insolação acompanha, aproximadamente, a variação da temperatura, com valores mais elevados nos meses de Junho a Setembro e valores mais baixos de Dezembro a Fevereiro. Os picos de temperatura atingem os 39 °C, no mês de Julho, enquanto a temperatura mínima registada, em Janeiro, é de 0.6 °C. No entanto, deve-se referir que, devido ao facto de a Pateira de Fermentelos se localizar a cerca de 20 km da costa e, sofrer influência da linha de cumeada que a separa do rio Boco (afluente da Ria de Aveiro) e a protege do efeito amenizante do oceano Atlântico, a amplitude térmica da zona da Pateira de Fermentelos é, em princípio maior

que a amplitude térmica registada na estação meteorológica da Universidade de Aveiro que, por se localizar a cerca de 8 km da costa, na planície da Ria de Aveiro, sofre maior influência da atenuação das amplitudes térmicas proporcionada pelo oceano.

A velocidade média do vento é relativamente constante, variando entre 8.2 e 12 km/h. De Abril a Julho registam-se as velocidades médias do vento mais elevadas. No entanto as velocidades máximas do vento ocorrem nos meses de Dezembro e Março, atingindo os 45 km/h.

Para calcular a evapotranspiração potencial (ETP) média foram usados três métodos (Figura 3.2). O método de Thornthwaite que utiliza como variável principal a temperatura média e o método de Penman, em que se aplica um coeficiente redutor empírico aos valores de evaporação em superfície de água livre, calculada a partir das variáveis climáticas presentes na Figura 3.1. O método de medição da evaporação na tina consistiu na aplicação de um coeficiente de 0.8 aos valores de evaporação medidos, sabendo que a velocidade média anual do vento é de 9.8 km/h e a humidade média anual relativa é de 76.9 % (Lencastre & Franco, 1984).

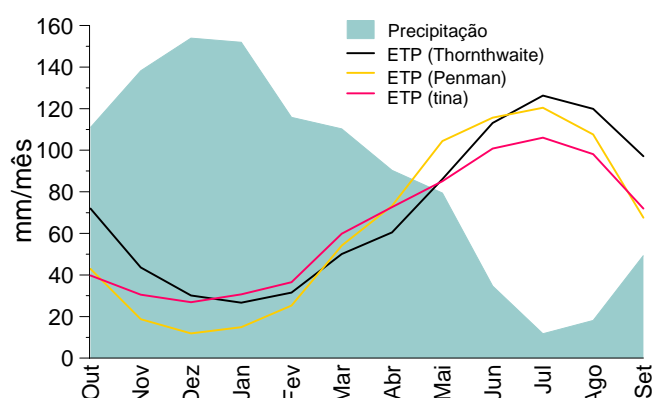


Figura 3.2 – Precipitação média mensal acumulada versus evapotranspiração potencial.

As três curvas obtidas são bastante semelhantes entre si. No entanto, a curva obtida pelo método de Penman destaca-se das demais por apresentar maior diferença entre os valores de Verão e os de Inverno. A curva obtida a partir da evaporação medida na tina é aquela que apresenta menor diferença entre os valores de Verão e de Inverno. Na curva obtida pelo método de Thornthwaite o valor mais baixo é atingido em Janeiro, o mês mais frio, reflectindo a importância da temperatura neste método, como foi dito anteriormente. Na curva obtida pelo método de Penman o valor mais baixo de ETP é atingido em Dezembro, mês com menor insolação e maior humidade relativa. Como foi visto anteriormente, a ETP aumenta com o aumento do número de horas de sol, visto este ser a fonte de calor que permite a evaporação da água, enquanto o aumento da humidade relativa inibe a formação de vapor de água, reduzindo assim a taxa de ETP.

Ao comparar a evapotranspiração potencial, calculada pelos três métodos, com a precipitação média mensal acumulada constata-se que nos meses de Outubro a Abril a precipitação é de duas

a quinze vezes superior à ETP. A partir de Maio e até Setembro, a ETP supera a precipitação, chegando a ser, no mês de Julho (nas curvas obtidas pelos métodos de Penman e de Thornthwaite), cerca dez vezes superior à precipitação média mensal (Figura 3.2).

### 3.2. Análise climática do ano hidrológico 2005/06

O ano hidrológico de 2005/06 foi antecedido de um ano hidrológico extremamente seco, com uma precipitação mensal significativamente abaixo da precipitação média mensal, como se pode observar na Figura 3.3. Devido à ausência de dados relativos à precipitação de Outubro de 2004 a Janeiro de 2005, no posto udométrico de Oliveira do Bairro, optou-se por apresentar a comparação das precipitações mensais, de 2004/05 e de 2005/06 para ambas as estações estudadas, permitindo uma melhor compreensão do regime pluviométrico de 2004/05.

A comparação da precipitação registada em ambas as estações permite verificar que na estação de Aveiro o período húmido exhibe precipitações médias mensais de 120 mm, enquanto na estação de Oliveira do Bairro os registos de precipitação média mensal, durante o mesmo período, variam entre 110 e 150 mm. Em ambos os gráficos é possível constatar a baixa pluviosidade registada em 2004/05 durante os meses de Fevereiro a Setembro de 2005, excepto em Julho de 2005, na estação de Aveiro. No gráfico desta estação pode observar-se ainda que nos meses de Novembro de 2004 a Janeiro de 2005, se registou fraca pluviosidade. Como consequência desta seca de 2004/05, as temperaturas atingidas no Inverno estiveram bastante abaixo da média enquanto as temperaturas de Verão exibem dois picos – em Junho e Agosto. Um dos efeitos desta seca traduz-se pela ocorrência de valores de ETP acima da média, no Verão de 2005 e pelo pico ocorrido em Novembro de 2004. O ano seguinte, 2005/06, herdou os efeitos desta seca, com efeitos notórios, durante o início do ano hidrológico, nomeadamente no caudal do rio Cértima, no nível da Pateira de Fermentelos e nalguns poços mais dependentes da ocorrência de precipitação e/ou linhas de água. As características climáticas de 2005/06 já não foram tão adversas como as do ano anterior. No entanto, surgiram alguns picos anómalos, como temperaturas extremamente elevadas em Maio de 2006 (temperatura diária máxima de 32.5°C), que conduziram ao pico de ETP observado nesse mês ou ainda a fraca pluviosidade observada nos meses de Novembro de 2005 a Fevereiro de 2006.

Em ambas as estações estudadas, em Agosto e Setembro de 2006 ocorreram precipitações bastante acima da precipitação média mensal de cada estação, o que conduziu a uma subida dos níveis de água subterrânea e superficial no final do ano hidrológico de 2005/06, bem como à supressão das necessidades hídricas do solo para perfazer a ETP de Setembro, restando ainda água para preencher parte do volume de água da reserva útil do solo, como se verá mais adiante.

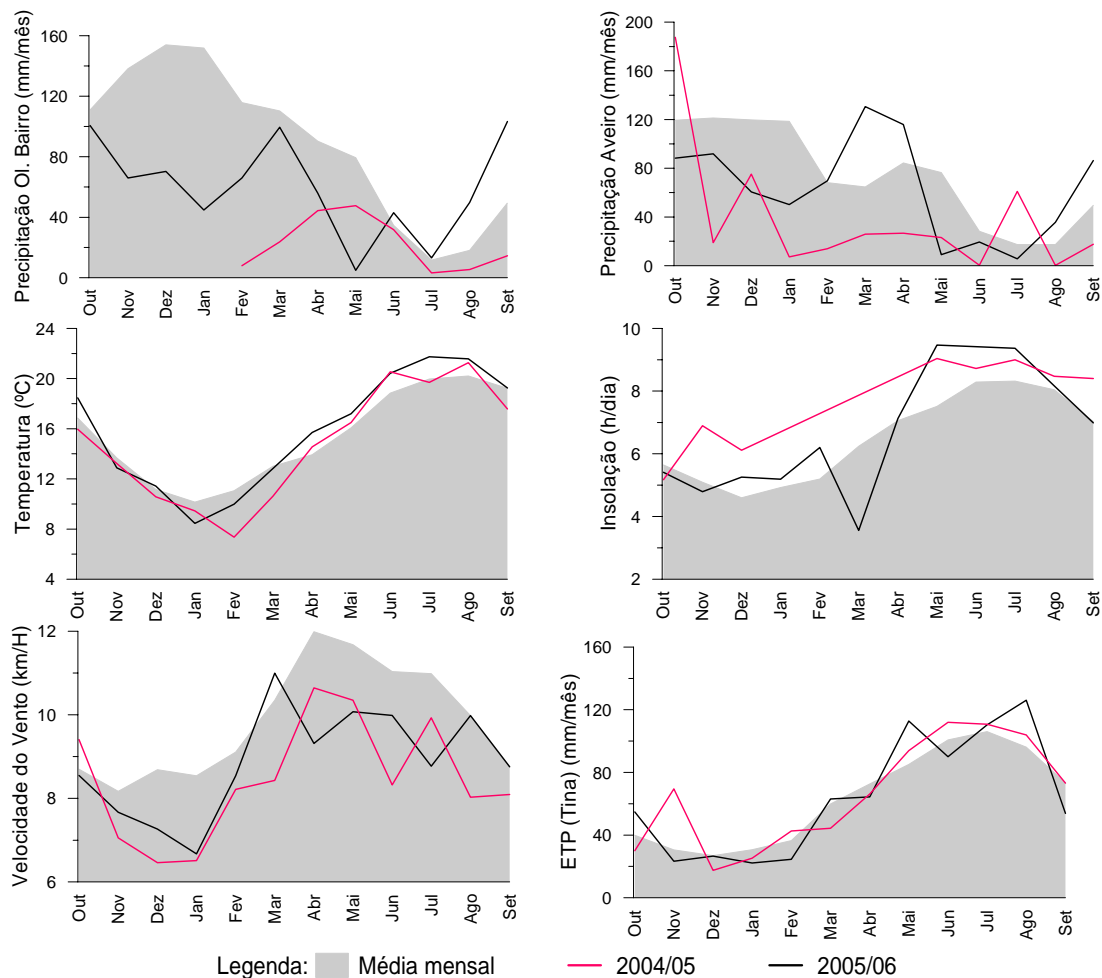


Figura 3.3 – Comparação dos valores médios dos principais parâmetros climáticos (para uma série de 26 anos na estação da Universidade de Aveiro e de 74 anos no posto udométrico de Oliveira do Bairro) com os valores registados nos anos hidrológicos de 2004/05 e 2005/06.

### 3.3. Balanço hídrico do solo

#### 3.3.1. Balanço hídrico do solo para um ano de características climáticas médias

O balanço hídrico ao nível do solo, determinado com base na comparação entre a ETP e a quantidade de água disponível no solo, permite determinar se há excesso ou défice hídrico no solo. No primeiro caso, a evapotranspiração real (ETR) será igual à ETP e, o volume de água que sobrar contribuirá para a recarga do aquífero e para o escoamento superficial que alimenta as linhas de água e por último a lagoa. No segundo caso, a ETR será condicionada pelo volume de água disponível no solo e não haverá escorrência superficial nem recarga do aquífero.

De modo a caracterizar o balanço hídrico médio ao nível do solo da área de estudo, procedeu-se ao cálculo do respectivo balanço mensal a partir dos valores médios mensais de precipitação

acumulada e dos valores médios mensais de ETP, calculada a partir dos métodos de Thornthwaite, Penman e com base nos valores medidos na tina de evaporação (Tabela 3.1).

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
PP	110.9	138.2	154.0	151.9	115.8	110.3	90.3	79.4	34.6	11.7	18.1	49.4	1064.6
<b>Thornthwaite</b>													
ETP	72.0	43.7	30.1	26.6	31.6	50.1	60.5	86.1	113.2	126.3	119.9	97.1	857.0
PP-ETP	38.9	94.5	123.9	125.3	84.2	60.2	29.8	-6.7	-78.6	-114.6	-101.8	-47.7	207.6
ETR	72.0	43.7	30.1	26.6	31.6	50.1	60.5	86.1	113.2	26.5	18.1	49.4	607.7
RS	38.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	93.3	14.8	0.0	0.0	0.0	747.0
EXC	0.0	33.5	123.9	125.3	84.2	60.2	29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	456.9
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.8	101.8	47.7	249.3
$\Delta R$	38.9	61.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.7	-78.6	-14.8	0.0	0.0	0.0
<b>Penman</b>													
ETP	42.9	18.7	11.9	14.8	25.3	54.1	73.3	104.4	115.7	120.5	107.6	67.6	756.8
PP-ETP	68.0	119.5	142.1	137.1	90.5	56.2	17.0	-25.0	-81.1	-108.8	-89.5	-18.2	307.8
ETR	42.9	18.7	11.9	14.8	25.3	54.1	73.3	104.4	109.6	11.7	18.1	49.4	534.2
RS	68.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	75.0	0.0	0.0	0.0	0.0	743.0
EXC	0.0	87.5	142.1	137.1	90.5	56.2	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	530.4
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	108.8	89.5	18.2	222.6
$\Delta R$	68.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-25.0	-75.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Tina</b>													
ETP	39.8	30.5	26.9	30.7	36.5	59.8	72.7	85.1	100.8	106.0	96.2	73.2	758.2
PP-ETP	71.1	107.7	127.1	121.2	79.3	50.5	17.6	-5.7	-66.2	-94.3	-78.1	-23.8	306.4
ETR	39.8	30.5	26.9	30.7	36.5	59.8	72.7	85.1	100.8	39.8	18.1	49.4	590.1
RS	71.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.3	28.1	0.0	0.0	0.0	793.5
EXC	0.0	78.8	127.1	121.2	79.3	50.5	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	474.5
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.2	78.1	23.8	168.1
$\Delta R$	71.1	28.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.7	-66.2	-28.1	0.0	0.0	0.0

Legenda: ETP – Evapotranspiração potencial; ETR – Evapotranspiração real; PP – Precipitação; RS – Reserva no solo; EXC – Excesso; DEF – Défice;  $\Delta R$  – variação da reserva no solo. **Todos os valores estão expressos em mm.**

Tabela 3.1 – Balanço hídrico ao nível do solo, para um ano com parâmetros climáticos médios.

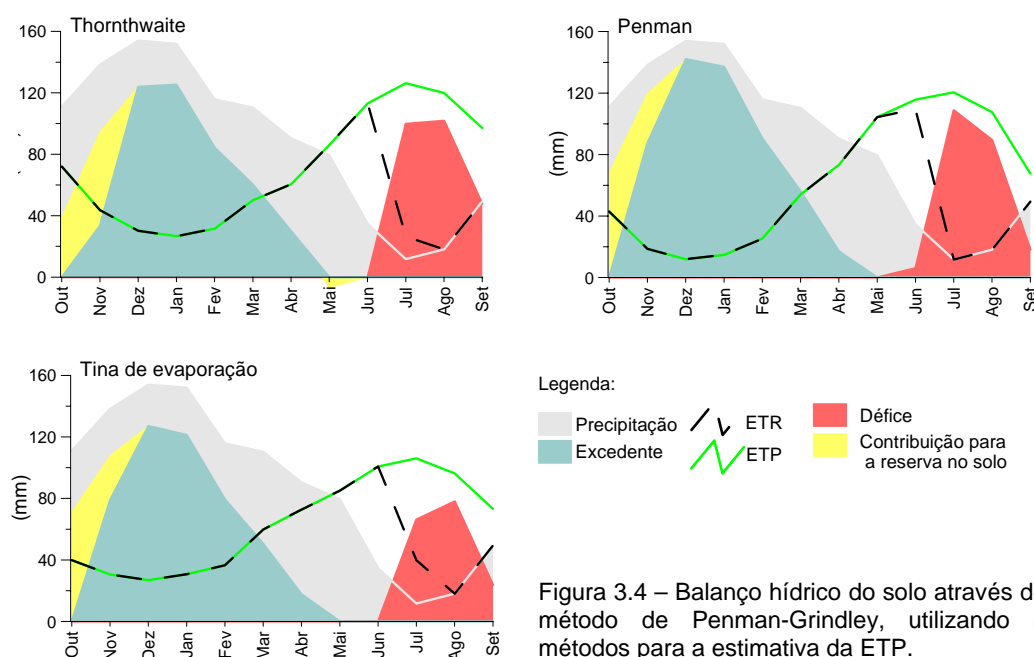
Neste cálculo é introduzido um parâmetro de grande importância para o resultado obtido no balanço, que é a altura de água utilizável pelas plantas, que depende fundamentalmente do tipo de solo, do tipo de vegetação e do declive do relevo. Atendendo a que na área de estudo o solo é areno-argiloso e o tipo de vegetação terrestre dominante são pinheiros, eucaliptos, choupos, carqueja, e urze (Borrego *et al.*, 1995 e Condesso de Melo, 2002) atribui-se uma altura de água utilizável pelas plantas de 100 mm.

O ano hidrológico inicia-se habitualmente em Outubro, mês que representa o final do Verão e princípio do Outono, no qual se considera uma altura de água no solo utilizável pelas plantas de 0 mm.

Os resultados obtidos no balanço hídrico ao nível do solo permitem constatar de imediato que, para um ano de características climáticas médias, a área em estudo é excedentária em água, visto

os excedentes anuais superarem visivelmente os défices anuais (Tabela 3.1). Os três métodos conduzem a valores de ETP anual acumulada muito semelhantes, obtendo-se uma ETP anual de cerca de 80 % da precipitação anual, através do método de Thornthwaite e uma ETP anual de cerca de 71 % da precipitação anual, através dos métodos de Penman e das medições na tina. A área em estudo apresenta um volume excedentário anual de água no solo superior ao volume anual deficitário. No entanto a relação entre os excedentes e défices obtidos através do método de medição a partir da tina é de aproximadamente 3:1, enquanto nos dois primeiros métodos esta relação é de aproximadamente 2:1 (Tabela 3.1).

Da análise do balanço hídrico do solo, ao longo de um ano hidrológico de características climáticas médias (Figura 3.1), constata-se que, com os três métodos aplicados para a estimativa da ETP, em Outubro, a totalidade do volume de precipitação que sobra (PP-ETP) é usada para preencher a reserva de água útil no solo, que mesmo assim não fica totalmente preenchida no final deste mês. Ainda com os três métodos, em Novembro, o excedente de precipitação é usado para colmatar o volume de água na reserva útil que faltava preencher, ficando agora no máximo da sua capacidade (100 mm) e, sobrando ainda água para escorrer superficialmente e/ou infiltrar-se e recarregar o aquífero.



A reserva útil de água no solo permanece com a altura máxima de 100 mm até Abril e, se a ETP for estimada pelos métodos de Thornthwaite e de medições a partir da tina, de Abril até Julho a água armazenada no solo será consumida para suprir o défice de precipitação face à ETP. Se a ETP for estimada pelo método de Penman a água armazenada no solo será consumida para o mesmo fim, até Junho.



Os métodos de estimativa da ETP a partir da medição da evaporação na tina e de Thornthwaite conduzem a um período deficitário em água no solo idêntico – de Julho a Setembro, enquanto o método de Penman conduz a um período deficitário em água maior que nos casos anteriores – de Junho a Setembro. No entanto, neste último caso, no primeiro mês em que ocorre défice hídrico, este é muito baixo (6.1 mm), permanecendo o solo deficitário em água até ao final do ano hidrológico, como sucedia nos casos anteriores.

Do excedente hídrico ocorrido durante os meses de Outono/Inverno, parte vai infiltrar-se em profundidade e recarregar o aquífero enquanto outra parte vai escorrer superficialmente. Aplicando a equação (3.1):

$$I = EXC - Es \quad (3.1)$$

em que  $I$  é a infiltração que irá recarregar anualmente o aquífero,  $EXC$  é o volume de água excedentário anual e  $Es$  é o volume de escorrência superficial anual que, para a área em estudo assume-se o valor médio de 300 mm/a. Aplicando esta equação aos valores de volume excedentário obtidos pelos métodos de Thornthwaite, Penman e dos registos na tina, obtém-se 157, 230 e 175 mm/a de infiltração, respectivamente. Ou seja, na área estudada a recarga directa do aquífero freático a partir da precipitação varia entre 15, 22 e 16 % da precipitação anual (conforme se utiliza os métodos de Thornthwaite, Penman e dos registos na tina, para o cálculo da ETP). Os valores obtidos através do método de Thornthwaite e através das medições na tina são muito semelhantes, enquanto o valor obtido através do método de Penman é um pouco superior. Os valores obtidos são muito semelhantes aos de Condesso de Melo (2002). No entanto ao comparar os valores obtidos por outros métodos, como a flutuação do nível freático, ou o balanço de cloretos nas zonas saturada e não saturada, Condesso de Melo (2002), estima uma recarga média para o sistema aquífero Cretácico de Aveiro de 140 mm/ano, cujo valor mais próximo, obtido neste trabalho, é aquele obtido pelo método de Thornthwaite.

### 3.3.2. Balanço hídrico do solo para o ano de 2005/06

O balanço hídrico do solo durante o ano hidrológico de 2005/06 permite averiguar de que forma os efeitos da seca dos anos anteriores influenciaram o regime hidrológico deste ano, possibilitando, também, realizar o balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero freático na zona da Pateira de Fermentelos.

O regime pluviométrico de 2005/06 foi relativamente invulgar, com uma pluviosidade muito semelhante ao valor médio no primeiro mês do ano hidrológico, mas com uma descida acentuada da precipitação mensal até Fevereiro e, episódios de precipitação intensa no final do ano hidrológico – Agosto e Setembro (Figura 3.3). Esta pluviosidade acima da média no final do ano hidrológico de 2005/06 foi suficiente para anular o défice hídrico em Setembro de 2006 e

preencher quase metade da reserva útil no solo, se se considerar a estimativa da ETP a partir dos registos na tina; ou cerca de um terço da reserva útil no solo, se se considerar o método de Penman. Se a ETP for estimada pelo método de Thornthwaite, que conduz aos valores mais elevados, a reserva útil do solo fica com cerca de 8 % da sua capacidade preenchida no final do ano hidrológico estudado (Tabela 3.2).

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
PP	100.7	66.0	70.3	44.8	66.0	99.5	55.9	4.9	43.0	13.2	49.7	103.3	717.3
<b>Thornthwaite</b>													
ETP	81.6	37.5	29.6	18.1	24.0	46.6	71.2	93.4	127.2	143.7	131.9	95.1	900.0
PP-ETP	19.1	28.5	40.7	26.7	42.0	52.9	-15.3	-88.5	-84.2	-130.5	-82.2	8.2	-182.7
ETR	81.6	37.5	29.6	18.1	24.0	46.6	71.2	89.6	43.0	13.2	49.7	95.1	599.2
RS	19.1	47.5	88.2	100.0	100.0	100.0	84.7	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	547.6
EXC	0.0	0.0	0.0	15.0	42.0	52.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.9
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	84.2	130.5	82.2	0.0	300.8
ΔR	19.1	28.5	40.7	11.8	0.0	0.0	-15.3	-84.7	0.0	0.0	0.0	8.2	8.2
<b>Penman</b>													
ETP	45.2	17.5	10.4	11.8	23.6	47.6	73.8	116.6	124.6	128.1	112.7	67.4	779.4
PP-ETP	55.5	48.5	59.9	33.0	42.4	51.9	-17.9	-111.7	-81.6	-114.9	-63.0	35.9	-62.1
ETR	45.2	17.5	10.4	11.8	23.6	47.6	73.8	87.0	43.0	13.2	49.7	67.4	490.2
RS	55.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	82.1	0.0	0.0	0.0	0.0	35.9	673.4
EXC	0.0	4.0	59.9	33.0	42.4	51.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	191.2
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	81.6	114.9	63.0	0.0	289.1
ΔR	55.5	44.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-17.9	-82.1	0.0	0.0	0.0	35.9	35.9
<b>Tina</b>													
ETP	54.8	23.4	26.6	22.2	24.5	63.0	64.3	112.8	90.0	110.3	126.1	53.8	771.8
PP-ETP	45.9	42.6	43.7	22.6	41.5	36.5	-8.4	-107.9	-47.0	-97.1	-76.4	49.5	-54.5
ETR	54.8	23.4	26.6	22.2	24.5	63.0	64.3	96.5	43.0	13.2	49.7	53.8	535.0
RS	45.9	88.5	100.0	100.0	100.0	100.0	91.6	0.0	0.0	0.0	0.0	49.5	675.5
EXC	0.0	0.0	32.2	22.6	41.5	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	132.8
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	47.0	97.1	76.4	0.0	236.8
ΔR	45.9	42.6	11.5	0.0	0.0	0.0	-8.4	-91.6	0.0	0.0	0.0	49.5	49.5

Legenda: ETP – Evapotranspiração potencial; ETR – Evapotranspiração real; PP – Precipitação; RS – Reserva no solo; EXC – Excesso; DEF – Défice; ΔR – variação da reserva no solo. **Todos os valores estão expressos em mm.**

Tabela 3.2 – Balanço hídrico ao nível do solo para o ano de 2005/06.

O balanço hídrico do solo para o ano de 2005/06 revela um maior volume de défice hídrico anual do que o volume excedentário anual, ao contrário do que ocorre para um ano de características climáticas médias. Se a ETP for estimada pelo método de Thornthwaite, obtém-se uma relação entre os volumes excedentário e deficitário anuais de 1:3, enquanto se a ETP for estimada pelo método de Penman ou através das medições na tina, obtém-se uma relação de aproximadamente 1:2. Deste modo, constata-se que apesar da ocorrência de episódios pluviosos importantes, como aqueles que ocorreram em Março, Abril e Setembro de 2006, o balanço hídrico anual revela um défice hídrico considerável, provavelmente, reflexo da herança dos anos secos que precederam o ano hidrológico de 2005/06.

Os episódios de pluviosidade intensa ocorridos no final de 2005/06 estenderam-se pelo Outono de 2006, provocando inundações em todo o país e, nomeadamente na área de estudo que, como se verá seguidamente, apresenta elevada propensão para a ocorrência de cheias.

Através dos gráficos que constam na Figura 3.5, constata-se que o ano hidrológico de 2005/06 teve algumas particularidades, nomeadamente, a ocorrência de precipitação intensa em Setembro, que superou a ETP mensal e conduziu a uma variação anual da reserva no solo positiva, ao contrário do que ocorre normalmente, em que a variação anual da reserva no solo é nula, como acontece num ano hidrológico com características climáticas médias (Tabela 3.1). Assim, segundo os três métodos de estimativa da ETP, o ano hidrológico 2005/06 terminou com água na reserva útil do solo, sendo o volume armazenado no solo de 8.2, 35.9 ou 49.5 mm, consoante o método de estimativa da ETP aplicado for o de Thornthwaite, Penman ou através das medições de evaporação na tina, respectivamente.

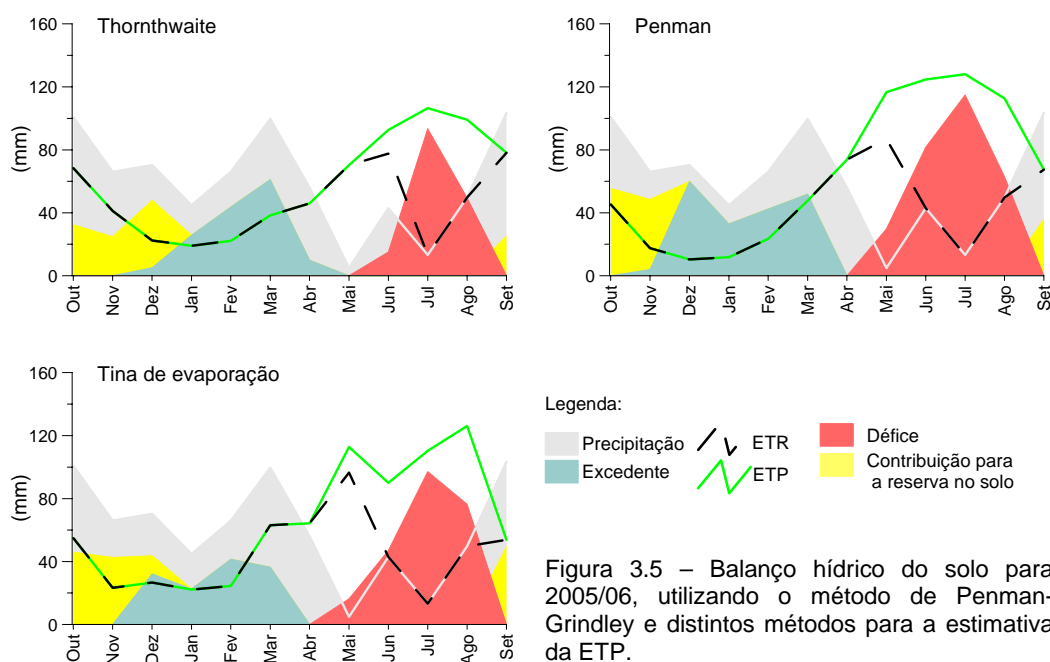


Figura 3.5 – Balanço hídrico do solo para 2005/06, utilizando o método de Penman-Grindley e distintos métodos para a estimativa da ETP.

Aplicando o método de Thornthwaite obtém-se o menor volume de água armazenado no solo no final de 2005/06, devido ao facto de este método conduzir ao maior volume de ETP anual. Segundo Penman e através das medições na tina, o volume armazenado no final do ano hidrológico 2005/06 é muito semelhante, reflectindo a similitude dos valores de ETP anual obtidos através destes dois métodos (Figura 3.5).

Se a ETP for estimada pelo método de Thornthwaite, o período em que ocorre excesso hídrico decorre de Dezembro a Abril, enquanto se a ETP for estimada pelo método de Penman, o período excedentário recua um mês. Se a ETP for estimada pelas medições na tina, o período excedentário decorre de Dezembro a Março.

Segundo os métodos de estimativa da ETP de Penman ou a partir das medições na tina, o período deficitário em água decorre de Maio a Agosto, enquanto segundo o método de Thornthwaite, o défice hídrico inicia-se um mês mais tarde.

Na secção anterior, em que se estimaram as taxas de evapotranspiração potencial e real e, a taxa de infiltração para um ano com características climáticas médias, obteve-se uma taxa de recarga do aquífero a partir da precipitação de 15, 22 e 16 % da precipitação, consoante o método utilizado para a estimativa da ETP, como referido anteriormente. Interessa agora estimar a recarga do aquífero a partir da precipitação, durante o ano hidrológico 2005/06 que, não será estimada aplicando a Equação (3.1), por não ter possível estimar o volume de escorrência superficial ocorrida no ano de 2005/06. Deste modo, optou-se por aplicar a relação encontrada entre o volume excedentário e a infiltração, de um ano com características climáticas médias ao volume excedentário ocorrido em 2005/06 e assim, obter uma estimativa da recarga do aquífero a partir do volume de água que sobra do balanço hídrico do solo, no ano hidrológico estudado.

A opção de estimar a recarga ocorrida no ano de 2005/06, a partir do volume excedentário anual, em virtude do volume de precipitação anual está relacionada com o facto de o volume excedentário anual ter em consideração a ETP e, por conseguinte, considerar a altura do ano hidrológico em que ocorre a precipitação. Enquanto o volume de precipitação anual não tem em consideração a altura do ano em que chove, que representa um dado muito importante para o volume de água que sobra do balanço hídrico do solo e, portanto, se pode infiltrar e recarregar o aquífero.

Tendo em conta que o valor de infiltração obtido a partir da estimativa da ETP pelo método de Thornthwaite para um ano de características climáticas médias (157 mm/a) é aquele que mais se aproxima do valor obtido por Condesso de Melo (2002), aplicando uma série de métodos para a estimativa da recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro (140 mm/a), optou-se por utilizar a taxa de infiltração de 34 % do volume excedentário anual, para a estimativa da recarga ocorrida em 2005/06. Deste modo e, tendo em conta o volume excedentário em 2005/06 (110 mm), estima-se uma recarga directa do aquífero a partir da precipitação de 37 mm. Este valor parece extremamente baixo quando comparado com a recarga do aquífero para um ano de características climáticas médias (157 mm/a), no entanto este valor poderá reflectir os efeitos da seca que antecedeu o ano hidrológico estudado, bem como a relativamente baixa precipitação anual do ano de 2005/06.

### **3.4. Hidrologia**

Nesta secção são abordados os principais aspectos fisiográficos que definem as sub-bacias dos rios Cértima e Águeda, visto o primeiro representar a principal entrada de água superficial da Pateira de Fermentelos e o segundo constituir o seu nível de base que, em casos excepcionais e concretos, pode impedir o escoamento da lagoa ou até mesmo alimentá-la. Esta alimentação dos

afluentes por parte das linhas de água principais denomina-se regolfo ou refluxo. Este efeito de regolfo parece ser um reflexo (1) da similitude da cota da superfície das três massas de água superficial (rios Vouga, Águeda e Cértima) na zona de estudo; (2) da proximidade do nível dos rios ao nível médio do mar, na zona da Pateira de Fermentelos (permitindo que as marés influenciem o nível destes rios, na zona de estudo) e (3) de distintos tempos de crescimento das três linhas de água. Desta forma, são abordados os aspectos fisiográficos dos rios Águeda e Cértima, que mais contribuem para a propensão de cheias, permitindo averiguar qual o rio com maior tempo de crescimento no ponto de confluência entre o rio Cértima e o rio Águeda, localizado imediatamente a jusante da saída da Pateira de Fermentelos.

### 3.4.1. Caracterização geométrica das sub-bacias do Cértima e do Águeda

O rio Cértima é um afluente de margem esquerda do rio Águeda, na zona imediatamente a jusante da confluência do rio Águeda com o rio Vouga. Para o presente estudo interessa estudar as sub-bacias do Águeda e do Cértima paralelamente, de forma a comparar as principais características que controlam o tempo de crescimento dos rios Cértima e Águeda no ponto onde se encontram – a ponte de Requeixo. Distintos tempos de crescimento terão um papel determinante no escoamento de saída da Pateira de Fermentelos.

O rio Cértima, com um comprimento total de 40 km, correspondendo os últimos cinco à Pateira de Fermentelos, apresenta uma bacia hidrográfica de 545 km<sup>2</sup>, com uma rede do tipo dendrítico. O traçado do rio Cértima é praticamente rectilíneo, orientado N-S (Anexo A.4), paralelamente ao contacto do Maciço Hespérico com as formações mesoceno-zóicas da Bacia Lusitânica. O fundo do vale do Cértima apresenta, na maior parte do seu comprimento, uma extensa planície aluvial, muitas vezes inundada pelas cheias e usada no Concelho de Oliveira do Bairro para o cultivo de arroz, tal como foi referido anteriormente.

O rio Águeda tem um comprimento de 55 km (localizando-se os últimos 2.5 km a jusante da confluência com o rio Cértima) e uma bacia hidrográfica de 458 km<sup>2</sup>, com uma rede hidrográfica também dendrítica.

As principais características geométricas dos rios Águeda e Cértima, analisadas no presente estudo e consultadas em Reis, 2000, apresentam-se na Tabela 3.3. Ao analisar os valores do coeficiente de compacidade e do factor de forma (Tabela 3.3), constata-se que o rio Águeda apresenta uma bacia ligeiramente mais compacta e bastante mais alongada que o rio Cértima, proporcionando tempos de crescimento mais curtos.

Rio	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Comprimento do rio (km)	Coeficiente de compacidade (Kc)	Factor de forma (K <sub>f</sub> )	Índice de Declive de Roche (I <sub>p</sub> ) <sup>1</sup>	Densidade hidrográfica (Dd) <sup>1</sup>
Cértima	545	40	1.37	0.33	0.01	8.9
Águeda	458	55	1.53	0.15	0.03	16.5

1 – Valores de Reis (2000).

Tabela 3.3 – Principais características geométricas das sub-bacias dos rios Cértima e Águeda.

A diferença de valor do Índice de Declive de Roche entre os rios analisados, reflecte um relevo mais aplanado na sub-bacia do rio Cértima e mais acidentado na sub-bacia do rio Águeda, promovendo uma vez mais, um tempo de crescimento mais curto no rio Águeda. Da observação dos rectângulos equivalentes (Figura 3.6) de cada sub-bacia, também é notória a diferença geométrica de ambas as sub-bacias: a sub-bacia do rio Cértima apresenta uma parte final entre os 100 e os 3 m de altitude, que corresponde a 76.9% da sua área, enquanto a sub-bacia do rio Águeda está melhor distribuída pelas distintas altitudes atravessadas, contribuindo para um escoamento mais eficiente da água caída sobre a bacia.

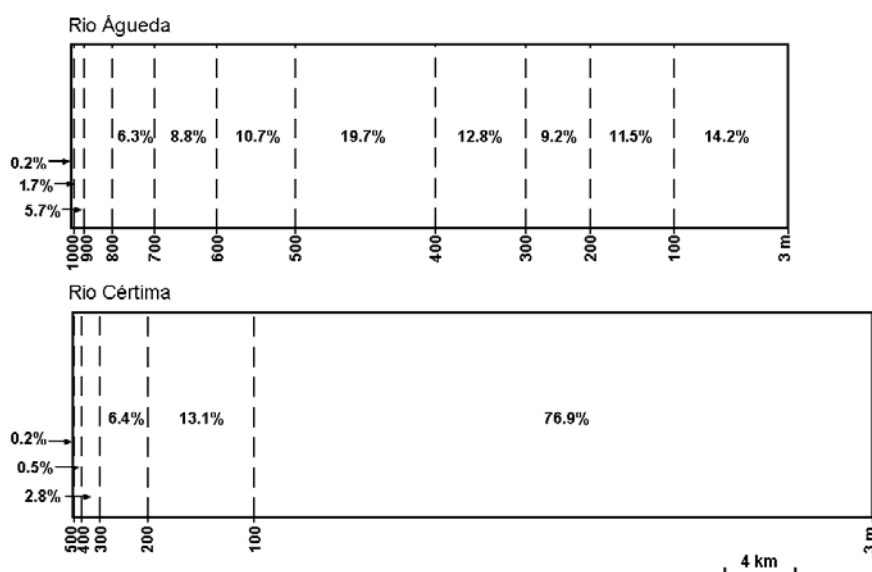


Figura 3.6 – Rectângulos equivalentes das bacias dos rios Águeda e Cértima (Reis, 2000).

Ambos os rios, Cértima e Águeda, sofrem, na área de estudo, influência de marés e regolfos provocados por cheias das linhas de água onde desagüam. No caso do rio Cértima é o rio Águeda que, em determinadas situações de cheia descarrega nele ou impede o seu escoamento livre, enquanto no caso do rio Águeda é o rio Vouga que, em situações equivalentes descarrega ou impede o escoamento livre do rio Águeda. Este tipo de regolfo está muitas vezes associado aos períodos de preia mar, em época de marés vivas (Soares de Almeida, L., 1979). O facto de tanto o baixo Águeda como quase todo o percurso do rio Cértima apresentarem extensas planícies de inundação permite que, em situações de cheia, o caudal deste rios transborde facilmente, criando charcos temporários que podem atingir extensões consideráveis e, no caso do rio Cértima, contribuir para o aumento da superfície de água livre da Pateira de Fermentelos.

### 3.4.2. Litologia das sub-bacias do Cértima e do Águeda

As litologias que afloram em determinada bacia hidrográfica exercem uma influência determinante na capacidade de escoamento e regulação da bacia. Nas duas sub-bacias estudadas observam-

se características muito distintas que proporcionam diferentes capacidades de escoamento e regulação de ambos os rios.

A sub-bacia do rio Cértima divide-se em duas partes, a vertente Este de relevo mais acidentado, que se desenvolve parcialmente sobre granitos e xistos, e a vertente Oeste, mais aplanada, sobre os sedimentos mesoceno-zóicos da Bacia Lusitânica. Estes sedimentos mesoceno-zóicos, devido à sua composição essencialmente detrítica, muitas vezes grosseira e pouco consolidada, são mais permeáveis que os xistos e granitos, facilitando a infiltração e retardando o pico de cheia no rio Cértima.

A sub-bacia do rio Águeda estende-se na maior parte da sua área sobre rochas ígneas e metamórficas – granitos hercínicos, formações do Complexo Xisto-Grauváquico (Ordovícico) e da Série Negra do Precâmbrico – cuja permeabilidade tipicamente baixa depende do estado de fracturação e alteração do maciço, contribuindo assim, para um maior volume de escorrência superficial, que favorece a diminuição do tempo de crescimento e potencia o pico de cheia do rio Águeda, no ponto de confluência com o rio Cértima.

Rio	área sobre sedimentos mesoceno-zóicos (%)	área sobre rochas ígneas e metamórficas (%)
Cértima	81	19
Águeda	13	87

Tabela 3.4 – Percentagem das distintas unidades geológicas nas bacias do Cértima e do Águeda.

### 3.4.3. Uso do solo nas sub-bacias do Cértima e do Águeda

O tipo de uso do solo também influencia o tempo de crescimento de um rio, visto que a impermeabilização do solo tem um papel determinante no volume de infiltração, reduzindo-o e, portanto, contribuindo para o aumento do volume de escorrência superficial. Por outro lado a vegetação arbórea intersecta a precipitação e consequentemente retarda a velocidade de acumulação de água na superfície que contribui para a escorrência superficial.

Ambas as sub-bacias hidrográficas são maioritariamente ocupadas por florestas indiferenciadas (de folhosas, resinosas e mato). No entanto, este tipo de uso do solo representa três quartos da área da sub-bacia do Águeda, enquanto na sub-bacia do Cértima representa aproximadamente metade da área (Tabela 3.5 e Anexo A.5). Ao contrário do que ocorre com as características geométricas e geológicas que favorecem a diminuição do tempo de crescimento no rio Águeda, o tipo de uso do solo parece promover a regulação do volume de água da sub-bacia do rio Águeda, na medida em que uma maior abundância de vegetação arbórea retarda a chegada da precipitação ao solo e, consequentemente retarda o pico de cheia deste rio.

Uso do solo	rio Águeda		rio Cértima	
	area (km <sup>2</sup> )	área (%)	area (km <sup>2</sup> )	área (%)
Culturas anuais e indiferenciadas	80.99	17.7	142.74	26.2
Florestas indiferenciadas	349.79	76.4	257.88	47.3
Urbano	2.11	0.5	20.17	3.7
Indústria e comércio	3.86	0.8	12.79	2.3
Cultura anual de sequeiro	0.89	0.2	11.33	2.1
Cultura anual de regadio	4.58	1.0	4.34	0.8
Pastagem natural	4.68	1.0	4.68	0.9
Vegetação esparsa	11.08	2.4	11.08	2.0
Extracção mineira	-	-	0.01	0.002
Arrozal	-	-	3.49	0.6
Vinha	-	-	69.93	12.8
Olival	-	-	1.77	0.3
Paúl	-	-	3.22	0.6
Plano de água	-	-	1.97	0.4

Tabela 3.5 – Áreas ocupadas pelos distintos tipos de uso do solo nas bacias do Águeda e do Cértima (a partir do mapa CORINE LAND COVER 2000, em Instituto de Ambiente, 2005).

Da comparação das principais características fisiográficas das sub-bacias do rio Cértima e do rio Águeda conclui-se que a sub-bacia do rio Cértima, por: (1) se desenvolver predominantemente em litologias permeáveis; (2) ter uma forma mais compacta; (3) uma densidade hidrográfica menor e (4) um Índice de Declive de Roche três vezes menor que a sub-bacia do rio Águeda, tem maior probabilidade para a ocorrência de cheias e terá, portanto, um tempo de crescimento maior que o rio Águeda, no ponto de confluência destes dois rios, permitindo assim a ocorrência de regolfos. Deve-se ter, também, em conta o efeito de armazenamento de água na Pateira de Fermentelos que contribui para retardar o pico de cheia do rio Cértima, no ponto de confluência com o rio Águeda.

#### 3.4.4. Caudais dos rios Cértima e Águeda

Das séries de dados de caudais nos rios Cértima (de 1950 a 1984) e Águeda (1950 a 1989) que constam na página do SNIRH, pode afirmar-se que, na cidade de Águeda, o rio Águeda tem um caudal médio diário de 8.94 m<sup>3</sup>/s e uma mediana de 2.92 m<sup>3</sup>/s, enquanto o rio Cértima, na ponte de Requeixo, tem um caudal médio diário de 27.32 m<sup>3</sup>/s, sendo a mediana 6.71 m<sup>3</sup>/s. Em média, o caudal máximo instantâneo do rio Águeda é de 169.87 m<sup>3</sup>/s, enquanto o mesmo parâmetro no rio Cértima é de 397.49 m<sup>3</sup>/s. Esta acentuada diferença de valores comprova a maior tendência para a ocorrência de cheias na sub-bacia do rio Cértima do que na sub-bacia do rio Águeda, como foi verificado a partir da análise fisiográfica das duas sub-bacias.

Durante o trabalho desenvolvido ao longo do ano hidrológico 2005/06 realizaram-se, em colaboração com a CCDR-Centro, quatro campanhas de medição do caudal do rio Cértima com molinete (Figura 3.7), à entrada e à saída da Pateira de Fermentelos.



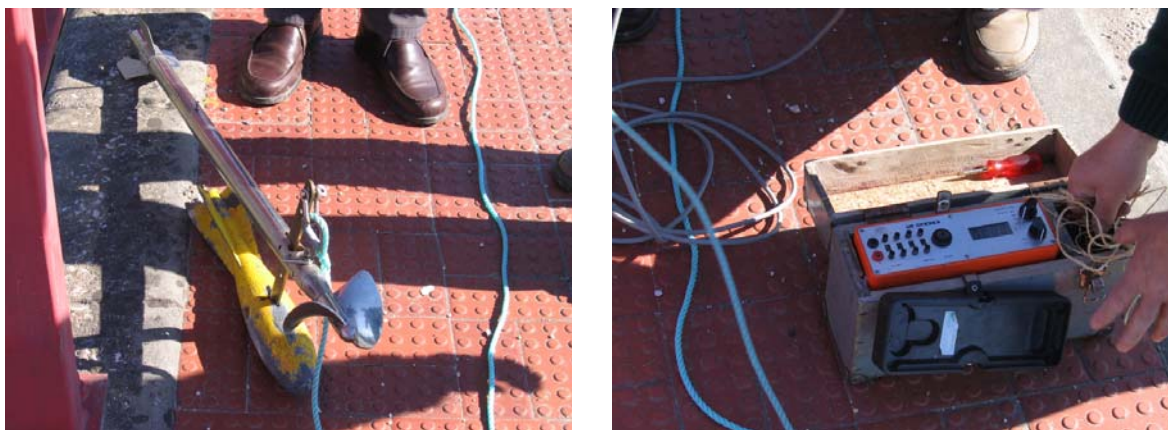


Figura 3.7 – Molinete e respectivo periférico, utilizados para medição dos caudais de água superficial (autoria: Sena, 2006).

Em Janeiro de 2006, o caudal de saída da Pateira de Fermentelos estava quase seis vezes abaixo do caudal mediano, reflectindo a fraca pluviosidade registada desde Novembro de 2005. No entanto, em Fevereiro de 2006 observa-se uma rápida recuperação do caudal, atingindo um valor próximo da mediana, como resposta aos períodos pluviosos que se registaram nesse mês (Tabela 3.6).

No dia 24 de Fevereiro, a acentuada diferença entre o caudal de entrada na lagoa e o caudal de saída parece indicar que os outros afluentes da Pateira de Fermentelos, das quais se destaca a ribeira do Pano, bem como a transferência de água subterrânea, podem ter uma contribuição importante nos períodos de níveis elevados resultantes de precipitações mais intensas e continuadas (Tabela 3.6).

No início de Maio de 2006, devido à diminuição da frequência e intensidade dos episódios pluviosos, o caudal do rio Cértima volta a baixar e, a 12 de Maio de 2006 verifica-se um caudal de entrada na lagoa superior ao caudal de saída, provavelmente devido à existência de uma maior inclinação da lâmina livre à entrada do que à saída, que se repercute na velocidade média do rio e, por conseguinte na diferença do caudal observado à entrada e à saída da Pateira de Fermentelos. A possível existência de distintas inclinações da lâmina livre à entrada e saída da lagoa pode dever-se à topografia do fundo da lagoa que influencia a velocidade de entrada e saída da lagoa. O nível do rio Águeda também pode influenciar o caudal de saída da lagoa, visto que, dependendo da cota a que se encontrar fará variar a velocidade de descarga na ponte de Requeixo. Neste sistema há dois níveis de base que funcionam paralelamente: a zona sul da lagoa constitui o nível de base do rio Cértima, que influencia o caudal de entrada da lagoa, na ponte de Perrães e, o rio Águeda constitui o nível de base da saída da lagoa, que influencia o caudal de escoamento desta, na ponte de Requeixo. A maior ou menor velocidade com que a lagoa enche ou vaza depende, entre outros aspectos, da relação altimétrica destes dois níveis de base. Como foi referido anteriormente, o rio Águeda pode alimentar a lagoa em situações de

cheia, devido às distintas dinâmicas do rio Cértima e do rio Águeda e, quando é colocado um açude no rio Águeda imediatamente a jusante da ponte de Requeixo, para que o nível da lagoa não desça demasiado nos meses de Verão, como aconteceu no dia 18 de Julho de 2006 (Tabela 3.6).

	H (m)	S (m <sup>2</sup> )	V <sub>m</sub> (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>sai</sub> – Q <sub>entra</sub>
<b>16 de Janeiro de 2006</b>					
Pte. Requeixo (saída)	0.84	20.19	0.06	1.16	-
<b>24 de Fevereiro de 2006</b>					
Pte. Perrães (entrada)	-	16.27	0.30	4.95	2.22 m <sup>3</sup> /s
Pte. Requeixo (saída)	0.96	42.92	0.17	7.17	Q <sub>sai</sub> > Q <sub>entra</sub>
<b>8 de Maio de 2006</b>					
Pte. Perrães (entrada)	-	13.10	0.15	1.94	-
<b>12 de Maio de 2006</b>					
Pte. Perrães (entrada)	-	10.70	0.16	1.79	- 0.43 m <sup>3</sup> /s
Pte. Requeixo (saída)	0.55	16.04	0.09	1.36	Q <sub>sai</sub> < Q <sub>entra</sub>
<b>18 de Julho de 2006</b>					
Pte. Perrães	-	0.43	0.30	0.13	

Legenda: H – altura hidrométrica; S – secção de vazão; V<sub>m</sub> – velocidade média; Q – caudal de vazão.

Tabela 3.6 – Altura hidrométrica, secção de vazão e caudal do rio Cértima, à entrada e à saída da Pateira de Fermentelos, em distintas alturas do ano hidrológico 2005/06.

### 3.4.5. Análise de hidrogramas do rio Cértima

O rio Cértima é o principal afluente de água superficial da Pateira de Fermentelos. A análise dos caudais registados à saída da Pateira de Fermentelos, na ponte de Requeixo e dos registos pluviométricos do posto udométrico de Oliveira do Bairro permite averiguar os volumes de descarga da lagoa para o rio Águeda, bem como a sua variação face à ocorrência de precipitação e, permite ainda estimar o coeficiente de esgotamento da Pateira de Fermentelos, que reflecte características hidráulicas das formações geológicas presentes na bacia hidrográfica da Pateira de Fermentelos.

A partir de dados contínuos de caudal médio diário medidos na ponte de Requeixo, no rio Cértima, entre 1980 e 1984 (SNIRH, 2006) e de dados de precipitação diária acumulada registados no posto udométrico de Oliveira do Bairro, para o mesmo período (por não existirem dados de caudal médio diário mais recentes), construíram-se os hidrogramas e hietogramas correspondentes (Anexo B.1) que permitem determinar tempos de crescimento deste rio.

Da análise dos hidrogramas e hietogramas considerados obtém-se um tempo de crescimento muito elevado, variando entre 5 e 20 dias. Estes valores parecem extremamente elevados, o que leva a crer que podem estar a interferir vários aspectos nesta análise: o efeito de armazenamento de água na Pateira de Fermentelos contribui para abrandar o tempo de crescimento; o efeito de

regolho pode mascarar o verdadeiro pico de cheia do rio Cértima, criando um pico mais atrasado do que aquele que seria de esperar; a utilização de dados diários em vez de dados horários para este tipo de análise prejudica muito as determinações efectuadas e ainda, a possibilidade de existirem erros nos dados usados.

A partir das curvas de esgotamento existentes nos quatro hidrogramas anuais, foi possível determinar o coeficiente de esgotamento, que permite obter uma ordem de grandeza de algumas características hidráulicas das formações aquíferas que drenam para a Pateira de Fermentelos, bem como as conexões hidráulicas entre estas duas massas de água.

Da análise de quatro curvas de esgotamento (Anexo B.2) obtiveram-se cinco valores do coeficiente de esgotamento ( $\alpha$ ) suficientemente semelhantes entre si para que se possa determinar a média aritmética destes e assim obter um valor do coeficiente de esgotamento representativo das formações geológicas que drenam para a Pateira de Fermentelos (Tabela 3.7).

Período de análise	$\alpha$ (dia <sup>-1</sup> )	$\alpha$ médio (dia <sup>-1</sup> )
De 01/01/81 a 08/02/81	0.026	0.020
De 20/7/81 a 20/09/81	0.017	
De 06/07/83 a 21/08/83	0.017	
De 18/7/84 a 3/09/84	0.020	

Tabela 3.7 – Coeficiente de esgotamento da bacia da Pateira de Fermentelos.

Como foi referido anteriormente, o INAG constrói um açude na ponte de Requeixo, durante os meses de Junho/Julho a Setembro, de forma a evitar a descida acentuada do nível da lagoa no Verão, facto que em princípio perturbaria a análise de hidrogramas durante esses meses, no entanto, ao constatar a similitude do valor do coeficiente de armazenamento estimado a partir do período compreendido entre 01/01/81 e 08/02/81 e os restantes períodos analisados que coincidem com o período em que é colocado o açude, optou-se por considerar fiáveis os valores obtidos durante o Verão. Esta semelhança entre períodos distintos de análise deve-se em princípio, ao facto de o açude influenciar apenas localmente o nível de escoamento da lagoa, sem que a transferência de água subterrânea para a bacia hidrográfica da Pateira de Fermentelos sofra alguma influência da construção do açude durante o Verão.

Através da observação da Tabela 3.7, constata-se que o valor médio do coeficiente de esgotamento do rio Cértima é de 0.020 dia<sup>-1</sup>. A partir do valor do coeficiente de esgotamento encontrado pode definir-se a seguinte equação correspondente à curva de esgotamento da Pateira de Fermentelos:

$$Q_t = Q_0 * \exp(-0.020*(t-t_0)) \quad (3.2)$$

Sendo  $Q_t$  o caudal do rio Cértima (na ponte de Requeixo) no instante  $t$  e  $Q_0$  o caudal do rio Cértima num determinado instante  $t_0$  anterior a  $t$ .

Conhecendo o caudal  $Q_0$  e  $\alpha$ , pode determinar-se o volume de água subterrânea armazenado acima do nível de drenagem das formações aquíferas ( $V$ ) no momento  $t_0$  (Custodio & Llamas, 2001):

$$V = Q_0/\alpha \quad (3.3)$$

Assim, para os anos em que foram estudadas as curvas de esgotamento obtêm-se os seguintes volumes de água armazenados no princípio e no fim de cada período analisado:

Caso	Ano hidrológico	Período	Caudal do rio ( $m^3/s$ )	$V$ ( $Hm^3$ )	$\alpha$ ( $dia^{-1}$ )	Duração	$Q_{subterrâneo}$ debitado para a rede hidrográfica ( $m^3/s$ )
1	1980/81	01/01/82	2.89	9.5	0.026	38 dias	1.8
		08/02/82	1.09	3.6			
2	1980/81	20/07/81	1.01	5.2	0.017	68 dias	0.6
		20/09/81	0.35	1.8			
3	1982/83	06/07/83	2.07	10.4	0.017	46 dias	1.5
		21/08/83	0.92	4.6			
4	1983/84	18/07/84	1.79	7.7	0.020	47 dias	1.2
		03/09/84	0.63	2.7			

Tabela 3.8 – Volumes de água subterrânea armazenados acima do nível de drenagem e respectiva taxa de drenagem, para diferentes períodos de fraca pluviosidade.

Ao analisar os resultados expostos na Tabela 3.8 constata-se que o caudal subterrâneo debitado para a rede hidrográfica durante os períodos de fraca pluviosidade analisados ronda os  $1.3 m^3/s$ . No caso 2, o caudal subterrâneo estimado é muito baixo, provavelmente devido à influência do açude colocado na ponte de Requeixo que impede o escoamento natural da lagoa para o rio Águeda. De facto, nesta curva de esgotamento (do período compreendido entre 20/07/81 a 20/09/81, Anexo B.2) observam-se três tendências com inclinações sucessivamente maiores que podem dever-se à influência do açude, mascarando assim, a influência do caudal subterrâneo debitado para a rede hidrográfica, deste modo opta-se por fazer a média aritmética dos valores de caudal subterrâneo encontrados nos casos 1, 3 e 4, obtendo-se o valor de  $1.5 m^3/s$ .

As distintas taxas de drenagem encontradas reflectem o facto de que quanto mais elevado for o nível freático das formações aquíferas drenadas para a Pateira de Fermentelos, maior será o volume de água subterrânea drenado para a rede hidrográfica por unidade de tempo e, consequentemente maior será o caudal de saída da lagoa, como se observa nos casos 1 e 3.

O caudal de água subterrânea drenado para a Pateira de Fermentelos, medido a partir dos dados de caudais médios na ponte de Requeixo, representa não só o volume de água aportado pelo aquífero Cretácico de Aveiro na zona onde é livre e pertencente à bacia hidrográfica da Pateira de Fermentelos, mas também de todo o conjunto das formações geológicas que pertencem à bacia do rio Cértima.

Sabendo que a bacia é constituída por 19 % de rochas graníticas e metamórficas de baixa permeabilidade e que os restantes 81 % correspondem a rochas mesocenozóicas com permeabilidades muito maiores, pode concluir-se que a maior parte da água subterrânea drenada para a rede hidrográfica que alimenta a Pateira de Fermentelos é cedida pelos sedimentos mesocenozóicos. A estimativa da percentagem de água cedida pelo aquífero Cretácico de Aveiro que é constituído pelas formações mais permeáveis da bacia da Pateira de Fermentelos será realizada mais adiante, quando for definido o modelo conceptual e respectivo balanço hídrico, após se ter abordado os parâmetros hidráulicos das formações aquíferas presentes na área de estudo, no Capítulo 4.

## **CAPÍTULO 4**

### **HIDROGEOLOGIA**

As massas de água superficial são, muitas vezes, a expressão à superfície da dinâmica da água subterrânea. Neste contexto, para além de um alargamento do rio Cértima, a Pateira de Fermentelos representa o afloramento do nível freático das formações aquíferas que a rodeiam. O nível freático destas formações geológicas sofre uma depressão acentuada em direcção à Pateira de Fermentelos, originando um acentuado desnível entre o potencial hidráulico no topo das elevações e o potencial hidráulico na superfície da lagoa.

Com o objectivo de caracterizar do ponto de vista hidrogeológico, as principais formações aquíferas presentes na área de estudo e que interagem com a Pateira de Fermentelos e zonas húmidas adjacentes, efectua-se, neste capítulo, uma análise detalhada das características hidrodinâmicas das formações geológicas, dedicando especial atenção à configuração da superfície freática, à sua evolução ao longo do ano hidrológico estudado, bem como à sua interacção com as massas de água superficiais – Pateira de Fermentelos e linhas de água.

A medição dos níveis piezométricos nos diversos pontos de água inventariados no início do ano hidrológico de 2005/06, permitiu construir a superfície piezométrica do aquífero freático, envolvente à Pateira de Fermentelos e zonas húmidas adjacentes, representando-a sob a forma de um mapa piezométrico. A monitorização mensal dos níveis de água subterrânea, superficial e dos caudais das nascentes presentes na área de estudo permitiu ainda, construir mapas piezométricos mensais, que reflectem a dinâmica da superfície freática e das massas de água superficial, em diferentes momentos do ano hidrológico estudado, evidenciando também, a evolução mensal da relação hidrodinâmica entre o aquífero freático e a lagoa.

Através dos resultados obtidos nos mapas piezométricos, foram projectados cortes piezométricos verticais das vertentes que cercam a lagoa, possibilitando assim, uma melhor compreensão da dinâmica sazonal entre o nível freático e a lagoa, bem como dos efeitos do acréscimo de água no aquífero e na lagoa, como consequência da recarga directa a partir da precipitação.

A integração da informação climatológica, hidrológica e hidrogeológica, permitiu definir um modelo conceptual do sistema aquífero – lagoa, a partir do qual se realizou uma estimativa dos volumes de água que participam nos principais fluxos envolvidos, de forma a realizar o balanço hídrico dos dois sub-sistemas – lagoa e aquífero freático – durante o ano hidrológico de 2005/06.

#### **4.1. Inventário dos pontos de água**

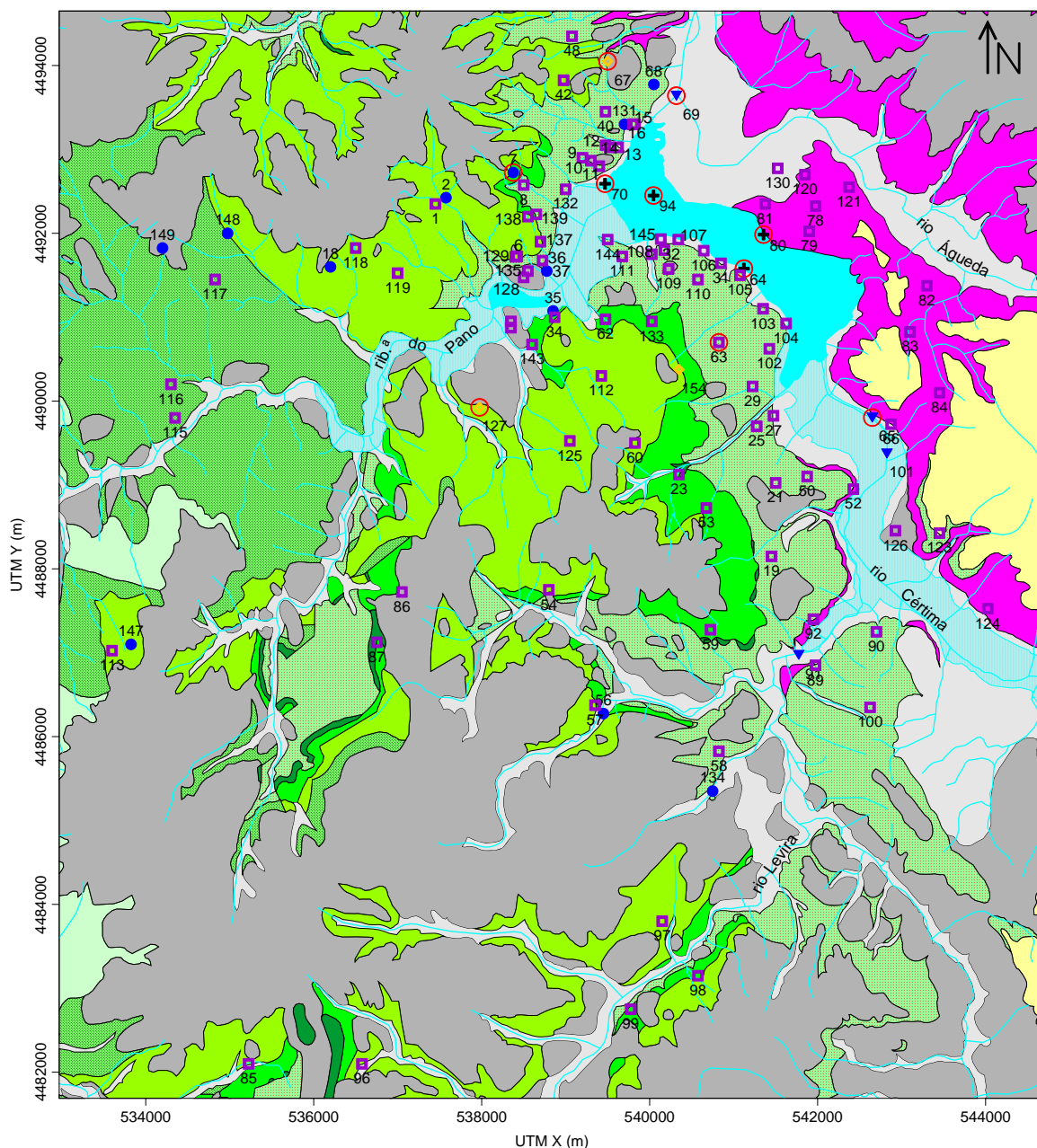
O inventário de pontos de água realizado no início do ano hidrológico 2005/06, teve como principal objectivo a criação de uma rede de pontos de água, em torno da Pateira de Fermentelos, para

monitorizar mensalmente o nível piezométrico e o caudal das nascentes existentes na área de estudo (Figura 4.1). Assim, em Outubro de 2005 foram inventariados sessenta e dois pontos de água, incluindo oito nascentes e cinquenta e quatro poços, numa área de cerca de 20 km<sup>2</sup>, em torno da Pateira de Fermentelos, abrangendo a margem de Requeixo, Fermentelos e Perrães. No final desta campanha de campo construiu-se o mapa piezométrico através das cotas piezométricas obtidas nos distintos pontos de água inventariados. A análise da configuração da superfície freática permitiu verificar que esta estava fortemente influenciada pela Pateira de Fermentelos e respectiva rede hidrográfica, confluindo as direcções de fluxo subterrâneo na lagoa e linhas de água.

No final de Outubro de 2006, ao confirmar-se a possibilidade de realização de análises mensais no laboratório de Hidroquímica do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, planeou-se o início da monitorização da qualidade da água na zona de estudo, a partir de Novembro de 2005, mediante a análise de nove pontos de água, aos quais se acrescentou um ponto de água em Janeiro de 2006, perfazendo assim dez pontos de água para monitorização mensal da qualidade da água subterrânea e superficial da zona da Pateira de Fermentelos, e cujos resultados são analisados no Capítulo 5.

Após a análise da superfície freática gerada a partir dos níveis determinados nos pontos de água inventariados em Outubro de 2005 e, visando a monitorização da qualidade da água superficial e subterrânea da zona da Pateira de Fermentelos, optou-se por seleccionar mais sete pontos de água em Novembro de 2005, que incluem um ponto na lagoa para monitorização do nível e da qualidade da água; um furo em Requeixo para monitorização da qualidade da água do aquífero semi-confinado; dois pontos no rio Cértima (a montante e a jusante da Pateira de Fermentelos) para monitorização do nível e da qualidade da água; um poço em Fermentelos para monitorização da qualidade da água do aquífero freático em meio urbano-agrícola; e, duas fontes para que, mediante a qualidade que apresentassem se optar pela que revelasse menor impacto antrópico, de forma a permitir a monitorização da qualidade da água do aquífero freático, em meio relativamente afastado de focos de contaminação.

A interacção entre as massas de água superficial e o nível freático, verificada através do mapa piezométrico criado a partir dos resultados obtidos em Outubro de 2005, levou à necessidade de averiguar se as divisórias de água subterrânea freática coincidiam aproximadamente com as divisórias de água superficial. Deste modo, decidiu-se alargar a área de medição do nível freático em Novembro de 2005, abrangendo as margens de Óis da Ribeira, Espinhel, Barrô e a margem direita do rio Águeda, oposta a Óis da Ribeira, conduzindo ao acréscimo de trinta e um pontos de água relativamente àqueles que tinham sido amostrados em Outubro de 2005. A área amostrada em Novembro de 2005 abrangeu assim aproximadamente 90 km<sup>2</sup>, em torno da Pateira de Fermentelos.



Legenda:

- |  |  |
|--|--|
| - Aluvião (Holo.)                        | - Grés de Furadouro (Cret. sup.)       |
| - Terraços fluviais e marinhos (Plist.)  | - Calcários de Mamarrosa (Cret. sup.)  |
| - Formação de Aguada (Plio-Plist.)       | - Grés de Requeixo (Cret. inf. a sup.) |
| - Argilas de Aveiro e Vagos (Cret. sup.) | - Grés de Eirol (Triá.)                |
| - Grés de Verba (Cret. sup.)             | - Superfície de água livre             |
| - Grés de Oiã (Cret. sup.)               | - Zona sazonalmente inundada           |
|  | - Linha de água                        |

Pontos de água:

- |              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| ● - nascente | ▼ - linha de água                 |
| ■ - poço     | ◇ - furo                          |
| ⊕ - lagoa    | ○ - análise química mensal        |
|              | 101 - referência do ponto de água |

Figura 4.1 – Projecção do inventário dos pontos de água amostrados mensalmente sobre a geologia da região (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998).



Em Dezembro de 2006, após confirmada a interacção entre as divisórias de água superficial e as divisórias de água subterrânea, com base na análise dos resultados obtidos em Novembro de 2005, restringiu-se a área de monitorização a uma área de 80 km<sup>2</sup> em torno da Pateira de Fermentelos, tendo deixado de se monitorizar a área da margem direita do rio Águeda que se considerou fora do âmbito deste estudo.

Em Fevereiro de 2006, com a ocorrência de precipitações intensas, subida do nível das massas de água superficial e, com o objectivo de averiguar se o fluxo de transferência entre águas superficiais e o aquífero freático se invertia, devido à distinta inércia hidrodinâmica de ambas, decidiu-se intensificar a amostragem do nível freático nas proximidades das principais linhas de água e da lagoa, mas mantendo os limites da área amostrada desde Dezembro de 2005. Deste modo, a partir de Fevereiro de 2006, foram monitorizados cento e doze pontos de água, perfazendo uma área de 80 km<sup>2</sup> em torno da Pateira de Fermentelos (Figura 4.1).

Dos cento e doze pontos de água monitorizados mensalmente, doze são fontes nas quais se monitorizou o caudal; quatro são locais da lagoa onde se colheram amostras para análise química mensal e medição do nível da lagoa num destes; quatro são pontos em linhas de água: um local no rio Levira e três locais no rio Cértima (dois a montante da lagoa e um a jusante da lagoa); três são furos, dos quais dois serviram para monitorização da qualidade da água e um serviu para monitorizar o nível piezométrico da zona mais profunda do aquífero; e, finalmente oitenta e nove são poços nos quais se mediu o nível freático.

Em Abril de 2006, com o objectivo de caracterizar uma área maior do que aquela monitorizada mensalmente, foi realizada uma campanha de campo alargada da zona envolvente à Pateira de Fermentelos, tendo-se amostrado vinte e oito pontos de água para análise em elementos maiores, menores e traço, e medido o nível piezométrico de oitenta e seis poços e o caudal em vinte e cinco nascentes, perfazendo, com os cento e doze pontos monitorizados mensalmente, duzentos e vinte e três pontos de água inventariados em Abril de 2006.

Ao longo do trabalho foi inventariado um total de duzentos e oitenta pontos de água (Anexo C.1 a C.10), dos quais duzentos e vinte e três serviram para definir a piezometria de uma área maior do que aquela amostrada mensalmente em torno da Pateira de Fermentelos (campanha realizada em Abril de 2006), de modo a comprovar a interacção entre o fluxo subterrâneo de baixa profundidade e a rede hidrográfica; seis serviram para averiguar a cota do nível piezométrico do aquífero Cretácico profundo, na zona da Pateira de Fermentelos e compará-la com a cota piezométrica do aquífero freático sobrejacente; e, os restantes cinquenta e um pontos de água serviram pontualmente para resolver determinadas dúvidas que foram surgindo no decorrer das campanhas de campo.

A medição do nível freático e do nível de água dos rios e da lagoa, analisados neste capítulo, foi feita com recurso a uma sonda eléctrica com escala métrica, subtraindo o valor da profundidade do nível de água à cota do terreno (lida nas cartas militares 1:25000 que abrangem a área de

estudo) onde se encontra o ponto de água. Os caudais das nascentes mediram-se cronometrando o tempo necessário para perfazer determinado volume. Este volume variou consoante o caudal da nascente, ou seja, para nascentes caudalosas optou-se pelo volume de 5 L, enquanto para aquelas de caudal menor optou-se pelo volume de 1 L.

## 4.2. Formações aquíferas

As principais formações aquíferas que ocorrem na zona envolvente à Pateira de Fermentelos são as formações cretácicas pertencentes ao sistema aquífero Cretácico de Aveiro. No entanto, existem outras formações aquíferas de importância local, na zona envolvente à Pateira de Fermentelos, constituídas pelos grés triásicos, os calcários jurássicos e os terraços quaternários.

O sistema aquífero Cretácico de Aveiro é um aquífero costeiro, com cerca de 894 km<sup>2</sup> de área, situado entre Águeda a Este, o Oceano Atlântico a Oeste, Ovar a Norte e Cantanhede a Sul (INAG, 1999). É um aquífero poroso multicamada (Marques da Silva, 1990) e está, nos dois terços ocidentais da sua área, confinado por espessa camada de argilas cretácicas. A restante área do aquífero, localizada no extremo Este, está elevada e parcialmente erodida, pondo a descoberto as formações permeáveis onde ocorre recarga directa a partir da precipitação (Condesso de Melo, 2002). As formações aquíferas cretácicas sobre as quais incide o presente estudo são as formações cretácicas pertencentes à zona de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona envolvente à Pateira de Fermentelos.

O sistema aquífero Cretácico de Aveiro é constituído por 4 conjuntos aquíferos (da base para o topo):

1. Grés grosseiros inferiores constituídos pelo topo dos “Grés de Requeixo” e dos “Grés da Palhaça”;
2. Formação carbonatada constituída pelos “Calcários da Mamarrosa”;
3. Grés micáceos constituídos pelos “Grés do Furadouro” e;
4. Grés grosseiros superiores constituídos pelos “Grés de Oiã” e a base dos “Grés de Verba”.

A nível regional, cada um destes quatro conjuntos exhibe piezometria, produtividade e mineralização distinta, parecendo existir alguma independência hidráulica entre eles, embora localmente possa existir conexão hidráulica muito lenta. Parece existir, também, uma falha aproximadamente N-S, que intersecta toda a sequência cretácica localizada, aproximadamente, entre Cacia, a Norte e Palhaça, a Sul. A acentuada mineralização das águas observada na base do sistema aquífero Cretácico de Aveiro parece ocorrer apenas a Oeste desta falha, ou seja, fora da área de estudo (Marques da Silva, 1990).

Devido ao facto de estes quatro conjuntos aquíferos aflorarem na área de estudo, o seu comportamento é do tipo multicamada freático a semi-confinado, em que, horizontalmente, a sua

piezometria é contínua e relativamente homogénea, encontrando-se fundamentalmente influenciada pela topografia e rede hidrográfica, enquanto verticalmente, se observa uma certa independência hidráulica, observando-se um nível freático com potencial hidráulico superior e um nível semi-confinado com potencial hidráulico inferior.

Os terraços quaternários que cobrem as formações cretácicas estão hidraulicamente ligados ao sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona onde é freático, funcionando na zona de estudo, como um aquífero freático multicamada. Os terraços quaternários, sendo constituídos por intercalações de cascalheiras, areias e argilas podem apresentar, por si só, comportamento multicamada. Os afloramentos dos terraços quaternários, encimando as elevações cretácicas e triásicas, têm um carácter descontínuo e são alimentados directamente pela água da chuva, transferindo-a facilmente para as formações mesozóicas subjacentes.

Os calcários jurássicos e os grés triásicos exibem, na área de estudo, fácies muito consolidadas que dificultam o fluxo de água subterrânea, comportando-se como aquíferos de baixa permeabilidade, com águas, em geral, muito mineralizadas, não deixando no entanto, de ser captadas para exploração de água subterrânea na zona de estudo.

O elevado grau de consolidação dos grés triásicos permite a construção de poços, cujas paredes são parcialmente constituídas pela própria formação geológica (Figura 4.2). Do ponto de vista hidráulico, os grés triásicos comportam-se, normalmente, como aquíferos do tipo poroso e fissural, enquanto os calcários jurássicos, devido à sua natureza carbonatada, podem funcionar como aquífero cársico e fissural.



Figura 4.2 – Interior de um poço (ponto 73 do inventário de pontos de água) que explora os grés triásicos. Legenda: 1 – “Grés de Eirol” (Triásico); 2 – Terraços (Quaternário) e 3 – parede do poço construída com tijolo (autoria: Sena, 2005).

No sopé das elevações triásicas de Espinhel e Piedade, na margem direita do rio Cértima, foram encontrados, durante este estudo, furos surgentes instalados nas formações triásicas que aí estão parcialmente cobertas pelos aluviões do rio Cértima.

Os aluviões do rio Cértima, constituídos por sedimentos grosseiros e finos modernos, constituem um aquífero limitado, devido à fraca capacidade de armazenamento de água induzida pela acentuada conexão hidráulica entre os aluviões e o rio, favorecendo a manutenção de níveis muito baixos no Verão – são vários os poços que secam no Verão – e muito altos no Inverno.

#### **4.2.1. Grés grosseiros inferiores**

Os “Grés de Requeixo”, com uma sequência granodecrescente, exibem três níveis (da base para o topo) com comportamento hidrogeológico distinto: (1) grés grosseiros e bem cimentados na base; seguidos (2) por um arenito menos cimentado e intercalado com níveis argilosos que conferem baixa permeabilidade a este nível; ao que se sobrepõe (3) um arenito com menor grau de cimentação e, portanto, maior condutividade hidráulica, contendo águas pouco mineralizadas. A mineralização das águas (verificada apenas a Oeste da falha N-S) e o potencial hidráulico deste conjunto aumentam do topo para a base, o que revela uma certa independência hidráulica entre estes três níveis (Marques da Silva, 1990).

O nível superior dos “Grés de Requeixo”, pelas suas características hidráulicas e hidroquímicas favoráveis à exploração, constitui os grés grosseiros inferiores, que se comportam como um aquífero com boa produtividade, captado na área de estudo por meio de poços artesanais e furos.

#### **4.2.2. Formação carbonatada**

Esta unidade é constituída por margas, calcários e argilas intercalados, que no conjunto formam um aquífero multicamada com permeabilidade vertical muito inferior à permeabilidade horizontal. A nível regional, a diminuição da permeabilidade é, normalmente, acompanhada por um aumento da mineralização das águas, da base para o topo desta unidade, chegando a atingir-se níveis de mineralização consideráveis. A produtividade desta unidade é, regra geral, bastante baixa (Marques da Silva, 1990). O seu comportamento hidráulico varia de aquífero a aquífero, proporcionando, na área de estudo, o aparecimento de nascentes e linhas de água na zona de contacto entre esta formação e os Grés micáceos, que lhe são sobrejacentes.

#### **4.2.3. Grés micáceos**

Os Grés micáceos são constituídos por uma sequência granocrescente de areias muito finas a grosseiras, limitadas superior e inferiormente por níveis de argilas negras micáceas. Segundo Marques da Silva (1990), esta é a unidade mais permeável do conjunto aquífero multicamada principal do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, contribuindo com a maior parte da água transmitida. A sua transmissividade pode chegar a ser nove vezes superior à das outras unidades aquíferas (Condesso de Melo, 2002). As águas contidas neste aquífero têm mineralização muito

baixa, favorecendo a incidência da maioria das captações com melhor desempenho nesta unidade.

O facto de esta unidade assentar sobre a Formação carbonatada propicia o aparecimento de nascentes e o aumento do volume de água armazenado, uma vez que a diferença de permeabilidades promove a acumulação de água nos Grés micáceos, impedindo-a de percolar em profundidade e garantindo, assim, a manutenção da água infiltrada neste nível. Muitas das nascentes inventariadas neste estudo estão relacionadas com afloramentos desta unidade (Figura 4.3), bem como os poços mais produtivos.



Figura 4.3 – Fonte da Cilha (ponto 7 do inventário de pontos de água). A fonte da Cilha é uma nascente com infraestrutura associada (constituída por dois poços a 10 m a montante da bica, que induzem a convergência do fluxo subterrâneo e o direccionam para a bica e respectivos tanques, por meio de dois drenos), localizada no Carregal, Requeixo. A – Afloramento dos Grés micáceos.

#### 4.2.4. Grés grosseiros superiores

Os grés grosseiros superiores são constituídos por argilas e arenitos intercalados, pertencentes aos “Grés de Oiã” e à base dos “Grés de Verba”. A base dos grés grosseiros superiores é mais permeável e contém águas de baixa mineralização. Na zona confinada, o seu elevado potencial hidráulico origina, por vezes, níveis surgentes. Da base para o topo desta unidade, o comportamento hidráulico passa de aquífero a aquífero, acompanhado por um aumento da mineralização das águas (Marques da Silva, 1990).

Na área de estudo, a zona mais oriental dos afloramentos dos Grés grosseiros superiores apresenta maior densidade de poços artesanais, reflectindo a diminuição da sua produtividade de

Este para Oeste, que coincide aproximadamente com a passagem da base para o topo dos Grés grosseiros superiores.

As distintas formações geológicas que constituem o sistema aquífero multicamada Cretácico de Aveiro têm características hidráulicas distintas, reflectindo-se, muitas vezes em diferenças significativas entre a permeabilidade vertical (normalmente inferior) e a permeabilidade horizontal.

A nível regional, o conjunto de formações geológicas mais permeável do sistema aquífero Cretácico de Aveiro é constituído pelo topo dos Grés grosseiros inferiores, Formação carbonatada, Grés micáceos e a base dos Grés grosseiros superiores. Será, portanto, neste conjunto que decorrerá a maior parte do fluxo subterrâneo regional (Marques da Silva, 1990 e Condesso de Melo, 2002).

Na área de estudo, os níveis aquíferos mais permeáveis, onde incide a maioria das captações e nascentes mais produtivas, parecem ser os Grés grosseiros inferiores, os Grés micáceos e os Grés grosseiros superiores, que funcionam como um aquífero freático a semi-confinado. A Formação Carbonatada e os níveis mais ricos em finos que intercalam com os níveis aquíferos, funcionam como aquitardo, proporcionando a existência de um nível freático, geralmente, superior ao nível piezométrico da parte semi-confinada.

### **4.3. Piezometria das principais formações aquíferas**

O estudo da piezometria envolvente à Pateira de Fermentelos tem como base: (1) a caracterização da superfície piezométrica, através da identificação das características geométricas da superfície piezométrica e dos factores que contribuem para a geometria observada, bem como as interacções entre os fenómenos observados à superfície como a ocorrência de nascentes e zonas húmidas e a superfície piezométrica; e, (2) o estudo da evolução da superfície piezométrica ao longo do ano hidrológico estudado, permitindo identificar de que forma reage a superfície piezométrica aos períodos húmidos e secos que ocorrem sazonalmente, bem como a velocidade de reacção da posição da superfície piezométrica face a períodos de pluviosidade intensa. Ainda no âmbito do estudo da evolução da superfície piezométrica interessa identificar a interacção entre esta e a evolução dos caudais das nascentes e do nível das massas de água superficial.

#### **4.3.1. Caracterização da superfície piezométrica**

A caracterização da superfície piezométrica baseia-se na interpretação dos resultados da medição do nível de água nos distintos pontos de água subterrânea inventariados, bem como na ocorrência de nascentes. A integração da informação obtida através do nível de água medido nos distintos pontos de água subterrânea com a informação altimétrica e topográfica, interpretada a partir das cartas militares à escala 1:25000, do Instituto Geográfico do Exército, que cobrem a área de estudo, permitiu projectar superfícies piezométricas em mapas vectoriais, aplicando o método de

krigagem para meio isotrópico de modo a possibilitar a interpolação da cota piezométrica nas áreas entre os pontos de água onde foi medido o nível freático, utilizando o programa Surfer®.

Através da análise dos mapas piezométricos gerados, constata-se que a piezometria das formações aquíferas freáticas, que cercam a Pateira de Fermentelos, revela direcções de fluxo subterrâneo fortemente condicionadas pela lagoa e respectiva rede hidrográfica (Figura 4.4).

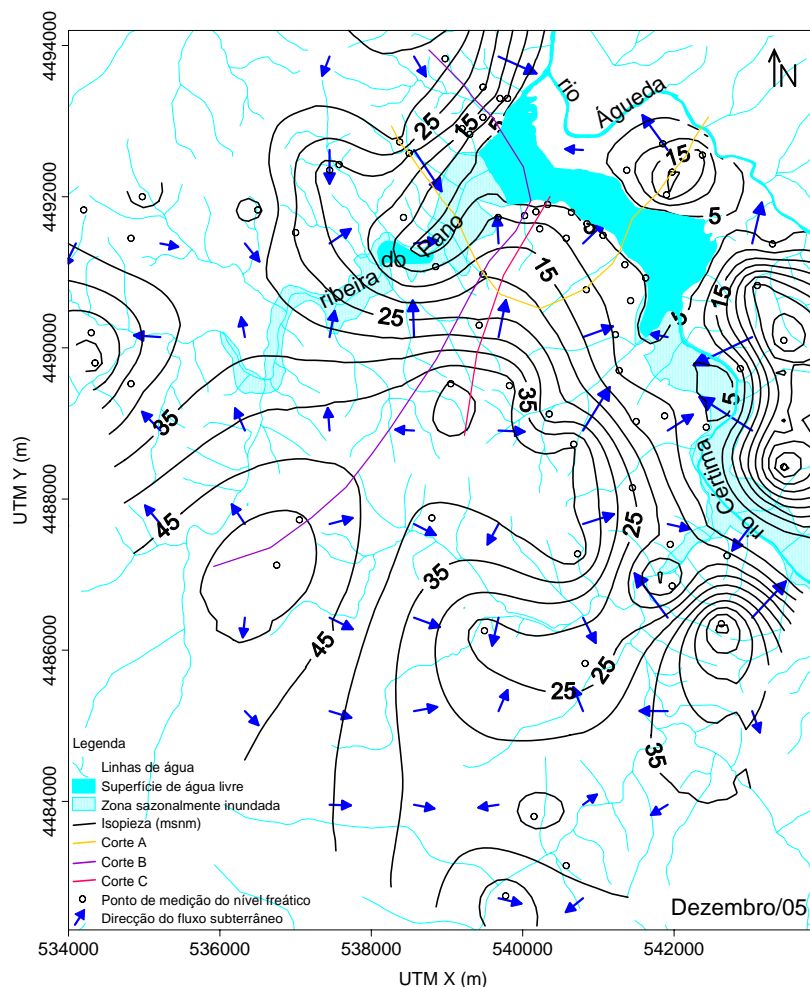


Figura 4.4 – Mapa da superfície piezométrica da zona de estudo, em Dezembro de 2005, com a localização dos cortes verticais da superfície piezométrica, tratados neste capítulo.

A topografia, bastante acidentada com elevações de topo aplanado, uma rede hidrográfica bem entalhada que conflui na zona especialmente deprimida da Pateira de Fermentelos, conjugadas com a presença de formações aquíferas de permeabilidade heterogénea e, sobretudo com uma permeabilidade vertical muito inferior à permeabilidade horizontal, induz a manutenção de um nível freático muito elevado (aflorando em diversas nascentes perenes, localizadas a meia encosta), comparativamente ao nível de base do aquífero – a Pateira de Fermentelos.



A superfície freática da área de estudo quase acompanha a superfície topográfica a cotas inferiores a esta. No topo aplanado das elevações a zona não saturada é geralmente mais espessa, enquanto nas vertentes e zonas próximas da lagoa e linhas de água, o nível freático aproxima-se da superfície topográfica, originando, muitas vezes, uma zona não saturada de poucos metros, ou mesmo inferior a um metro.

As isopiezas que contornam as linhas de água, como a ribeira do Pano, e adquirem uma forma em U aberto para jusante reflectem o carácter drenante e entalhado da rede hidrográfica, reflectindo a influência da rede hidrográfica e da Pateira de Fermentelos sobre o aquífero freático.

O domo existente entre a Pateira de Fermentelos e o rio Águeda reflecte a coincidência entre a linha de cumeeada e a linha de separação de águas subterrâneas e água superficiais, mais uma vez evidenciando a estreita relação entre a piezometria do aquífero freático e a topografia. Nesta zona e, na margem direita do rio Cértima a inclinação da superfície piezométrica em direcção à rede hidrográfica atinge o seu máximo, não só porque aí se localizam as elevações mais íngremes e de maior cota como, também, as formações aquíferas presentes, constituídas pelos grés triásicos, apresentam baixa permeabilidade. Estas formações aquíferas, ao serem muito pouco permeáveis conseguem sustentar gradientes hidráulicos mais elevados que aqueles observados no sistema aquífero Cretácico de Aveiro (Figura 4.5).

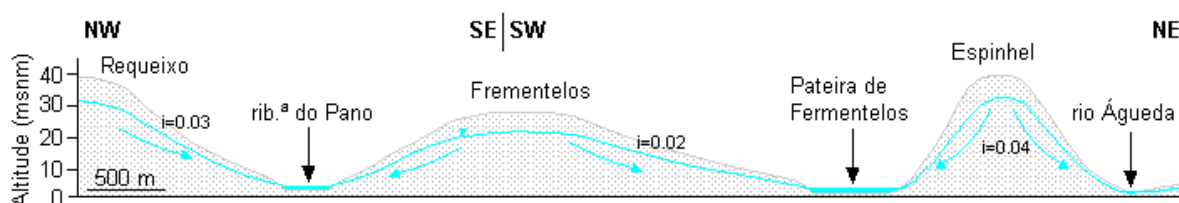


Figura 4.5 – Corte A : superfície freática em Dezembro de 2005, em torno da Pateira de Fermentelos, Ribeira do Pano e rio Águeda (a localização do corte encontra-se no mapa da Figura 4.4).

O gradiente hidráulico varia, portanto, consoante a inclinação da superfície topográfica e a permeabilidade do aquífero. Na zona de Fermentelos, onde a inclinação das vertentes é mais suave e as formações aquíferas são constituídas pelos Grés grosseiros inferiores e Grés micáceos, com permeabilidades bastante elevadas, o gradiente hidráulico é menor, enquanto em Espinhel, Piedade e Barrô, onde as vertentes são mais abruptas e as formações aquíferas são os grés triásicos, com permeabilidade relativamente baixa, o gradiente hidráulico é mais acentuado.

Em Outubro de 2005, o nível freático e o nível de água da lagoa ocupavam cotas muito baixas comparativamente às cotas que foram atingidas no final da estação húmida. Essas cotas tão baixas no princípio do ano hidrológico estudado parecem reflectir a herança da seca dos dois anos anteriores. No entanto, as nascentes existentes em torno na Pateira de Fermentelos apresentavam caudais apreciáveis como se verá na secção seguinte. Este facto indica que a ocorrência e posicionamento das nascentes não parece ser simplesmente devida à intersecção do



nível freático com a superfície topográfica mas também, devido à estratificação da permeabilidade como consequência do estilo multicamada que caracteriza o sistema aquífero Cretácico de Aveiro. Aliada a estas características, também a mudança brusca da inclinação da superfície freática pode induzir a ocorrência de nascentes, ao favorecer o fluxo ascendente ou descendente, consoante a variação da inclinação da superfície freática, ao longo de uma encosta. Esta interação entre a configuração da superfície freática e o posicionamento de nascentes e linhas de água está também referida no trabalho de Winter (1999).

Na zona de estudo, a configuração da superfície freática, com mudanças bruscas de inclinação, parece ser um reflexo da heterogeneidade de fácies sedimentares e da irregularidade da superfície topográfica que exerce uma influência determinante na geometria da superfície freática, induzindo zonas de fluxo subterrâneo ascendente e zonas de fluxo subterrâneo descendente (Figura 4.6).

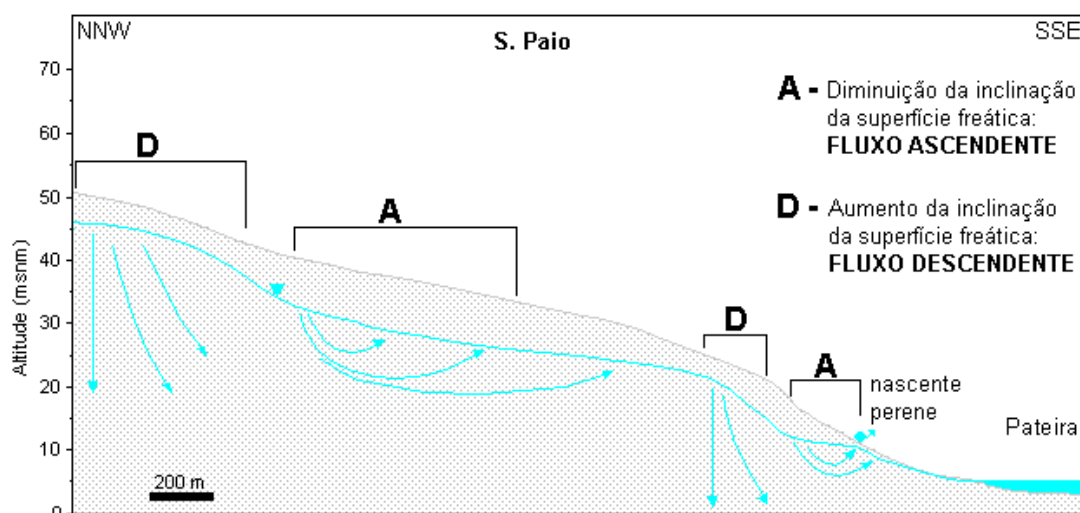


Figura 4.6 – Componentes verticais do fluxo subterrâneo e sua interação com a topografia.

A configuração da superfície freática da zona de estudo é, portanto, um reflexo da interação entre os seguintes fenómenos: (1) heterogeneidade de fácies; (2) permeabilidade vertical geralmente muito menor que a permeabilidade horizontal; (3) topografia; (4) entalhe da rede hidrográfica e (5) variação da inclinação da superfície freática.

As nascentes existentes na zona envolvente à Pateira de Fermentelos parecem ser um afloramento da superfície freática, que se deve fundamentalmente à intersecção da superfície topográfica pela superfície freática; à ocorrência de fluxo ascendente; e, ao contacto entre camadas menos permeáveis subjacentes a camadas mais permeáveis, próximo da superfície topográfica (como parece ser o caso da fonte da Cilha, Figura 4.3).

A Pateira de Fermentelos, para além de constituir um alargamento do rio Cértima, parece constituir, também, um afloramento deprimido da superfície freática das formações aquíferas que a rodeiam.

A campanha de campo mais abrangente, realizada em Abril de 2006, permitiu verificar que, tal como acontece na zona próxima à Pateira de Fermentelos, nas zonas mais afastadas da lagoa, as divisórias de água subterrânea do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona onde se comporta como freático, coincidem aproximadamente, com as divisórias de água superficial, ou seja, com o limite da bacia hidrográfica da Pateira de Fermentelos, revelando uma vez mais a estreita interacção entre o nível freático e a rede hidrográfica (Figura 4.7).

Pode concluir-se, a partir da análise da configuração da superfície freática, numa área mais alargada em torno da Pateira de Fermentelos, que o nível freático está fortemente controlado pela topografia e rede hidrográfica, confluindo o fluxo subterrâneo do sistema aquífero Cretácico de Aveiro na zona onde é livre, na lagoa e linhas de água adjacentes.

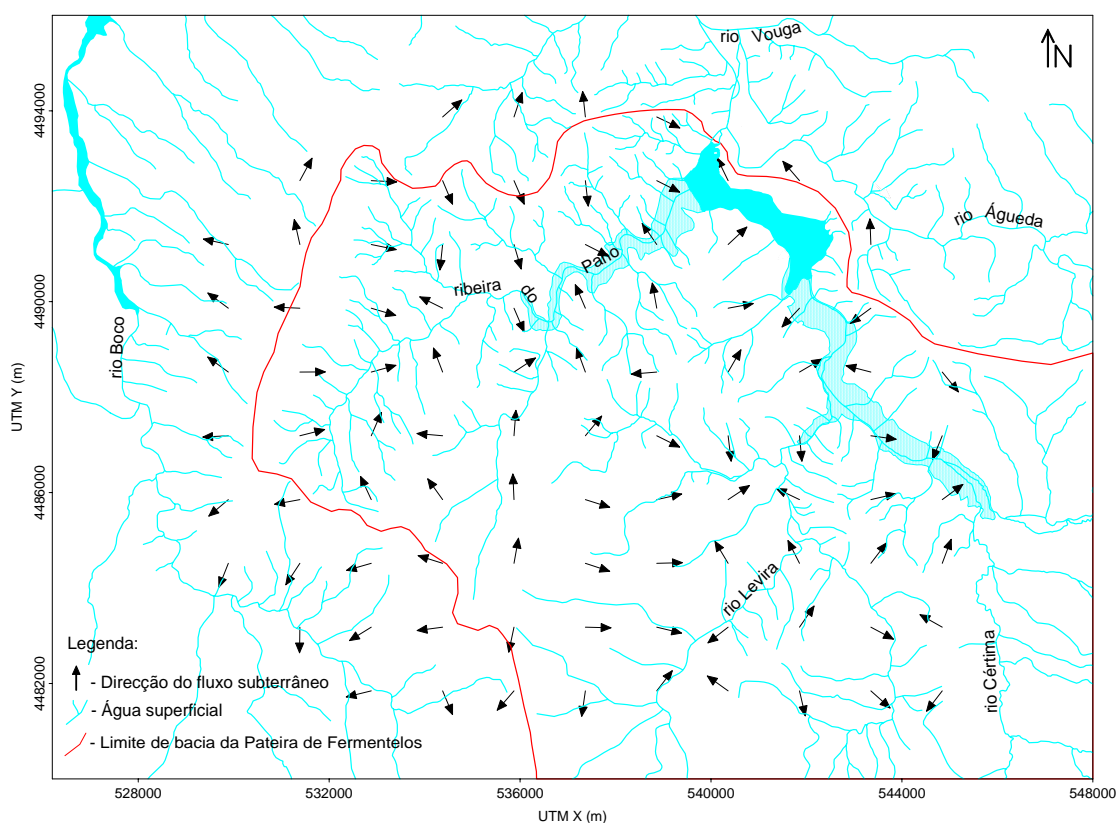


Figura 4.7 – Principais direcções de fluxo subterrâneo, das formações aquíferas freáticas, numa zona envolvente à zona de estudo, em Abril de 2006.

Em Junho de 2006 mediu-se o nível piezométrico, na zona de Fermentelos, em seis furos que captam o sistema aquífero Cretácico de Aveiro profundo e semi-confinado. Da cota piezométrica obtida nas distintas captações constata-se que o nível piezométrico do aquífero semi-confinado

está visivelmente abaixo do nível freático do aquífero sobrejacente, chegando a observarem-se desníveis de 15 m, em furos que não estão a ser bombados. Este desnível tão acentuado pode reflectir uma conexão hidráulica muito lenta entre o aquífero freático e o aquífero semi-confinado e, portanto, limitando a sua recarga por um lado; e, protegendo-o da infiltração de águas superficiais contaminadas, por outro lado.

Em Junho de 2006, quando o nível da lagoa estava a 4.2 m acima do nível médio do mar, a cota piezométrica observada em 4 furos em repouso, localizados a cerca de 1500 m a SW da Pateira de Fermentelos, situava-se entre 5.41 e 9.95 m sobre o nível médio do mar. Ou seja, o aquífero semi-confinado parece exibir cotas muito próximas do nível da lagoa, mas ligeiramente acima desta.

Devido ao facto de não terem sido identificados furos mais próximos da lagoa, não foi possível aceder ao nível piezométrico do aquífero profundo nas proximidades da lagoa, impedindo assim, de averiguar com precisão, qual a relação altimétrica entre os dois níveis.

#### **4.3.2. Evolução da superfície piezométrica ao longo do ano 2005/06**

A evolução da superfície piezométrica ao longo do ano hidrológico 2005/06 foi analisada a partir das medições mensais do nível das águas subterrânea e superficiais. A partir da variação dos caudais das nascentes ao longo do ano, foi possível inferir a variação da inclinação e/ou do potencial hidráulico da superfície freática que alimenta as nascentes monitorizadas.

A projecção de cortes verticais das formações aquíferas que cercam a Pateira de Fermentelos permite comparar a posição do nível freático em distintas alturas do ano hidrológico estudado (Figura 4.8).

Ao analisar a posição do nível freático nos distintos meses monitorizados, constatou-se que a seca que antecedeu o ano hidrológico de 2005/06 teve repercussões na posição do nível freático no início do ano estudado, bem como na capacidade de reacção hidrodinâmica da superfície freática, face à ocorrência das primeiras chuvas, visto que os níveis observados na lagoa, no rio Cértima e em muitos dos poços monitorizados mensalmente, encontravam-se a cotas muito baixas, comparativamente com aquelas que foram atingidas no final da época húmida e, até mesmo no final do ano hidrológico estudado (Figura 4.8).

De Outubro de 2005 a Outubro de 2006 não se verificaram inversões de fluxo, que possam indicar que a lagoa também alimenta o sistema aquífero Cretácico de Aveiro. Pelo contrário, este parece estar, ao longo de todo o ano hidrológico a alimentar a Pateira de Fermentelos (Figura 4.8 e Anexo A.6), funcionando esta e respectiva rede hidrográfica, como elementos drenantes do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona onde se comporta, do ponto de vista hidráulico, como aquífero livre. Esta relação também se observa entre a lagoa, respectiva rede hidrográfica e os grés triásicos que afloram na margem direita da Pateira de Fermentelos e do rio Cértima.

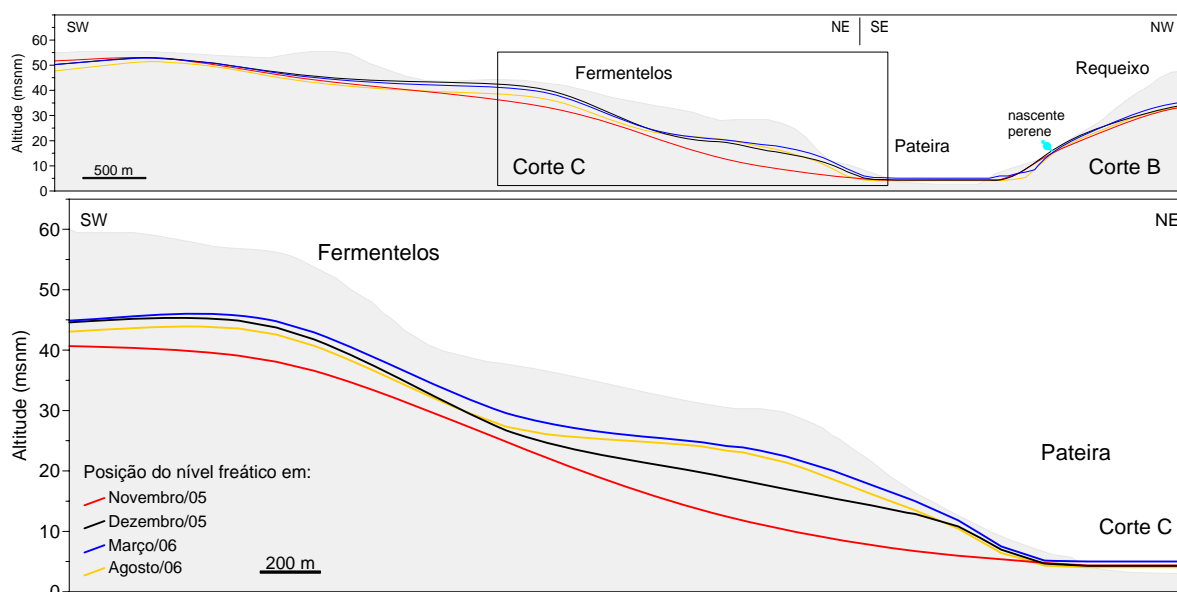


Figura 4.8 – Evolução do nível freático ao longo do ano hidrológico estudado. Corte B: Requeixo-Fermentelos; Corte C: pormenor do Corte B, em Fermentelos (a respectiva localização encontra-se no mapa da Figura 4.4).

Em Fevereiro de 2006, imediatamente após três dias de chuva intensa mediram-se os níveis nos poços localizados junto ao bordo da Pateira de Fermentelos, na zona de Requeixo e de Fermentelos, bem como o nível da lagoa, tendo-se verificado uma subida do nível da lagoa de cerca de 0.78 m em sete dias e uma subida do nível freático de modo heterogéneo. Tendo em conta que a superfície de água livre da lagoa ocupava, nesta altura uma área de cerca de 6 km<sup>2</sup>, pode concluir-se que, em sete dias, a lagoa foi capaz de acumular cerca de 4.68x10<sup>6</sup> km<sup>3</sup>, o que reflecte a dificuldade de escoamento da Pateira de Fermentelos para o rio Águeda, que se deve, entre outros factores, ao efeito de regolho que foi referido no Capítulo 3.

As diferenças entre o nível nos poços marginais à lagoa e na própria lagoa, observados em Fevereiro de 2006, imediatamente após três dias de chuva intensa, revelam que apenas em quatro poços o nível freático estava ligeiramente abaixo do nível da lagoa, variando este desnível entre 0.29 e 0.12 m (Figura 4.9), valores que estão muito próximos dos erros associados à medição do nível das massas de água, pelo método aplicado. Esta diferença tão pequena reflecte a dificuldade de inversão do fluxo, devida à topografia circundante que impõe um potencial hidráulico muito elevado relativamente ao nível da lagoa.

A configuração da superfície freática em torno da lagoa leva a crer que, este desnível centimétrico, que pode permitir a infiltração da água superficial no aquífero, pode ser invertido em poucos dias, devido à transferência de água subterrânea com maior potencial hidráulico para cotas inferiores, marginais à lagoa e principais linhas de água. Esta transferência subterrânea e reconfiguração da superfície piezométrica, após períodos de pluviosidade intensa, pode implicar a devolução da água superficial, que se tinha infiltrado, à lagoa.

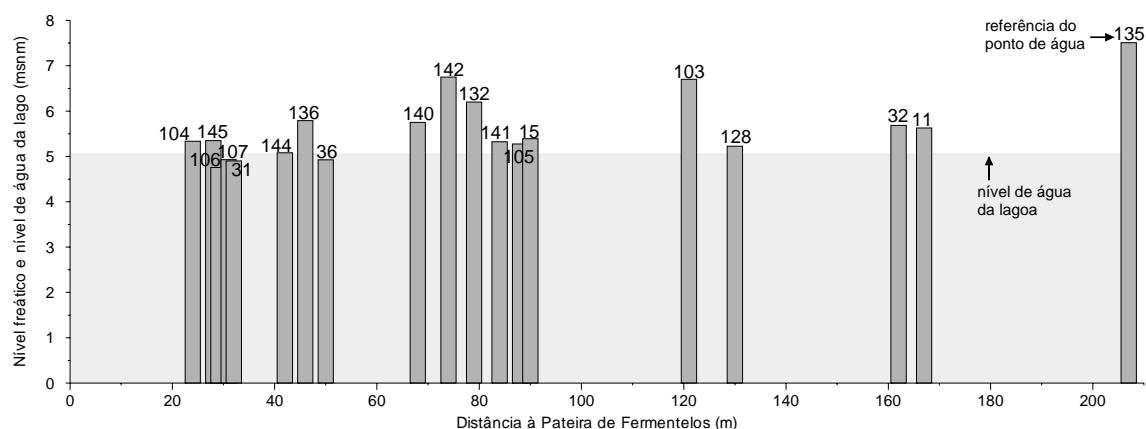


Figura 4.9 – Comparação entre o nível da lagoa e o nível dos poços mais próximos, após um período pluvioso.

Ao comparar a geometria e posicionamento da superfície freática em distintas alturas do ano hidrológico observam-se zonas com diferente amplitude de variação da cota piezométrica (Figura 4.8).

Na zona marginal à Pateira de Fermentelos o nível freático está muito dependente do nível da lagoa, apresentando oscilações muito semelhantes àsquelas observadas na lagoa. À medida que se progride em direcção ao topo das elevações, mais propriamente a meia encosta, a superfície freática exibe maior amplitude de variação de cota, reflectindo por um lado o fluxo subterrâneo com acentuada componente descendente em direcção à lagoa; e, por outro lado a subida do nível freático como consequência não só da infiltração da água da chuva, mas também devido à acumulação da água subterrânea de zonas adjacentes com cota piezométrica superior, que contribuem deste modo, para elevar o nível freático das zonas localizadas, sensivelmente, a meia encosta.

Em Novembro de 2005, quando os níveis estão mais deprimidos, o efeito drenante da lagoa faz-se sentir em locais mais distais e, consequentemente gera-se uma superfície ligeiramente côncava, enquanto em Março de 2006, devido à distribuição do excesso de água das zonas de maior potencial hidráulico para as zonas de menor potencial hidráulico, gera-se uma superfície convexa nas zonas de menor cota. Esta superfície convexa parece ser o efeito combinado da acumulação da água subterrânea que circula para cotas mais baixas e da dificuldade do aquífero transferir água para a lagoa, pois também esta tem agora um nível mais elevado (Figura 4.8).

No topo aplanado das elevações que cercam a Pateira de Fermentelos não se observa grande amplitude de variação da cota piezométrica, pois aí, durante os períodos secos dificilmente se faz sentir o efeito da depressão do nível de base – a lagoa, enquanto, durante os períodos húmidos, o excesso de água proveniente da infiltração da chuva é rapidamente distribuído pelas cotas mais baixas, dificultando assim a elevação do nível freático no topo das elevações, como consequência da precipitação.

A comparação do nível medido em diversos pontos de água em Outubro de 2005 e Outubro de 2006 permite averiguar se, durante o ano hidrológico estudado, o aquífero e a lagoa estão em regime permanente ou em regime transitório e, no segundo caso se a tendência é descendente ou ascendente.

Da análise dos gráficos que constam nos Anexos B.3 e B.4, treze poços exibem uma tendência ascendente bem marcada, dez parecem manter o nível, enquanto dois exibem uma nítida tendência descendente. O poço 19, com uma descida de 4 m entre Outubro de 2005 e Outubro de 2006 é explorado e, portanto, este desnível tão acentuado pode dever-se ao rebaixamento do nível por bombagem do poço. O poço 57 apresenta um desnível de 0.36 m entre Outubro de 2005 e Outubro de 2006, que se deve provavelmente a uma variação local, de pequeno significado para a escala a que se desenrola este trabalho.

O poço 1, localizado a meia encosta, na zona da Sanguinheira (Requeixo), reflecte bem a sazonalidade da posição do nível freático, com um máximo em Abril de 2006, um mês após o mês mais pluvioso da época húmida e um mínimo em Agosto de 2006, no final da época seca, antes das chuvas de Setembro e Outubro de 2006, que provocaram nova subida dos níveis imediatamente antes de começar o novo ano hidrológico.

O poço 8 está a 2 m de uma linha de água efémera, situada a meia encosta, e mostra um nível relativamente constante ao longo do ano, apenas com uma ligeira depressão durante os meses de Verão. Este poço reflecte a dinâmica das linhas de água que, nos troços onde há uma diminuição da inclinação da superfície freática, são continuamente alimentadas pelo fluxo subterrâneo ascendente, atenuando a amplitude entre o nível de Verão e o nível de Inverno. No ano em estudo, o nível freático oscilou neste ponto entre 0.12 m (Abril de 2006) e 1.59 m (Setembro de 2006) de profundidade, que rapidamente diminuiu, de Setembro para Outubro de 2006, de 1.59 m para 0.2 m.

#### **4.4. Nível de água das principais massas de água superficial**

Na zona de estudo, o nível de água da Pateira de Fermentelos apresenta uma variação muito dependente do caudal do rio Cértima e do regime de precipitação. Embora neste trabalho se constate que o aquífero alimenta a lagoa e zonas húmidas adjacentes, parece que esta alimentação é bastante reduzida ou pelo menos suficientemente lenta para que, após longos períodos secos o nível da lagoa comece a descer rapidamente, obrigando o INAG, a pedido das populações marginais à Pateira de Fermentelos e que a exploram para a agricultura, a colocar um açude no rio Águeda, imediatamente a jusante da ponte de Requeixo, por forma a que o rio Águeda impeça o escoamento da lagoa ou contribua para o seu enchimento durante o Verão.

No ano hidrológico estudado, o açude que atenua o escoamento da Pateira de Fermentelos para o rio Águeda, foi colocado a 12 de Junho de 2006 e retirado a 24 de Outubro de 2006. No gráfico da

Figura 4.10, o efeito do açude inicia-se em Julho de 2006, quando os níveis da lagoa, medidos na margem da “Estalagem da Pateira” e na saída da Pateira de Fermentelos, junto à ponte de Requeixo, começam a subir ligeiramente. Na entrada da lagoa este efeito surge um pouco mais tarde, de Julho a Agosto de 2006 o nível praticamente mantém-se e somente de Agosto para Setembro se faz sentir a ligeira subida já observada nos outros dois locais desde Julho de 2006. Este facto deve-se à posição da ponte de Perrães relativamente ao açude – trata-se do ponto, a montante, mais distante do açude.

O facto de, durante os meses em que o açude está montado, os níveis na estalagem e na ponte de Requeixo não se igualarem reflecte o acentuado desnível da superfície da própria lagoa, desde a sua entrada até à sua saída – cerca de 3 m. Considerando uma distância de 3 km entre as duas pontes, a lagoa apresenta uma inclinação média da lâmina livre, entre a ponte de Perrães e a ponte de Requeixo, de cerca 0.1 %.

A subida do nível de água à entrada, saída da lagoa e na lagoa, observada a partir de Agosto/Setembro de 2006, pode estar, não só relacionada com o efeito de contenção do nível de base da lagoa proporcionado pelo açude, como também, com as precipitações intensas que se fizeram sentir nestes dois meses.

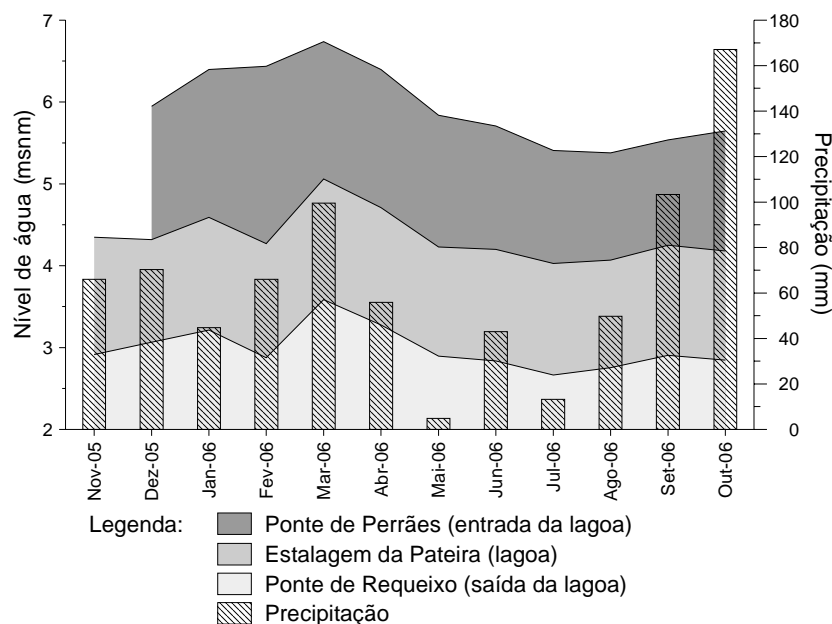


Figura 4.10 – Evolução dos níveis na entrada, saída e a meio da Pateira de Fermentelos.

O nível de água das massas de água superficial apresenta uma evolução directamente relacionada com a precipitação, com um máximo em Março, após vários meses com precipitação considerável e culminando no mês mais pluvioso da estação húmida – Março. De Março a Maio há uma tendência descendente a pique, abrandando depois entre Maio e Julho, quando o escoamento directo já é muito baixo e se passa gradualmente para o escoamento de base das

águas superficiais. A partir de Julho, com a intervenção humana, a curva de esgotamento fica mascarada pela subida do nível de base da lagoa, devido à colocação do açude imediatamente a jusante da ponte de Requeixo.

De Novembro de 2005 a Outubro de 2006, o nível da Pateira de Fermentelos, na margem da Estalagem, apresenta uma descida de 0.17 m, enquanto a sua saída, na ponte de Requeixo, apresenta uma descida de 0.07 m. Esta descida anual aparente pode ser devida ao facto de a primeira medição de nível, correspondente ao mês de Novembro de 2005, ter ocorrido após períodos de precipitação decorridos em Setembro e Outubro de 2005 que originaram uma subida dos níveis, relativamente rápida, no início do ano hidrológico estudado. A posição dos níveis de água superficial em Outubro de 2005 estava, muito provavelmente, um pouco abaixo da posição medida em Novembro desse ano, coincidindo sensivelmente, com a posição de Outubro de 2006 e, resultando numa variação anual praticamente nula.

#### **4.5. Nascentes e fontes**

Na área de estudo foram inventariadas cinquenta e uma nascentes (Anexo A7), das quais apenas duas não estão intervencionadas. Nas restantes nascentes, mais propriamente fontes, existem diversas obras para potenciar os caudais drenados, como seja a construção de um ou dois poços localizados 2 a 3 m a montante da bica, à qual estão hidráulicamente ligados por meio de tubos ou drenos, ou ainda a construção de poços, localizados imediatamente a montante da parede da fonte e rodeados por um maciço de cascalho que induz o aumento da área de influência da fonte e consequentemente potencia o seu caudal.

A elevada densidade de nascentes e fontes na área (51 em 90 km<sup>2</sup>) onde afloram as formações permeáveis do sistema aquífero Cretácico de Aveiro e dos terraços quaternários, reflecte a complexidade do sistema e o estado de drenagem em que se encontram as formações aquíferas.

Em Abril de 2006, o caudal observado nas nascentes inventariadas variou entre 0.7 e 180 L/min, reflectindo a heterogeneidade da permeabilidade das formações aquíferas, bem como os distintos potenciais hidráulicos associados a cada nascente.

A variação mensal do caudal de sete das doze nascentes monitorizadas mensalmente, revela vários aspectos naturais e antrópicos capazes de alterar o caudal observado (Figura 4.11). Os aspectos naturais que contribuem para a variação de caudal observada são a ocorrência e periodicidade das precipitações – quanto mais intensa e frequente for a precipitação maior será o caudal observado; enquanto os aspectos antrópicos são os diferentes trabalhos de limpeza e desobstrução das obras drenantes e da própria bica que potenciam o caudal, bem como a construção de torneiras na parte terminal da bica, que regulam o caudal drenado.



Das sete nascentes que constam nos gráficos da Figura 4.11, apenas quatro (a fonte da Cilha; a fonte da Bica; a fonte dos Amores e a fonte do Muro) parecem exibir uma evolução natural, com um máximo em Abril, bem evidenciado na fonte da Cilha, e uma descida nos meses de Verão.

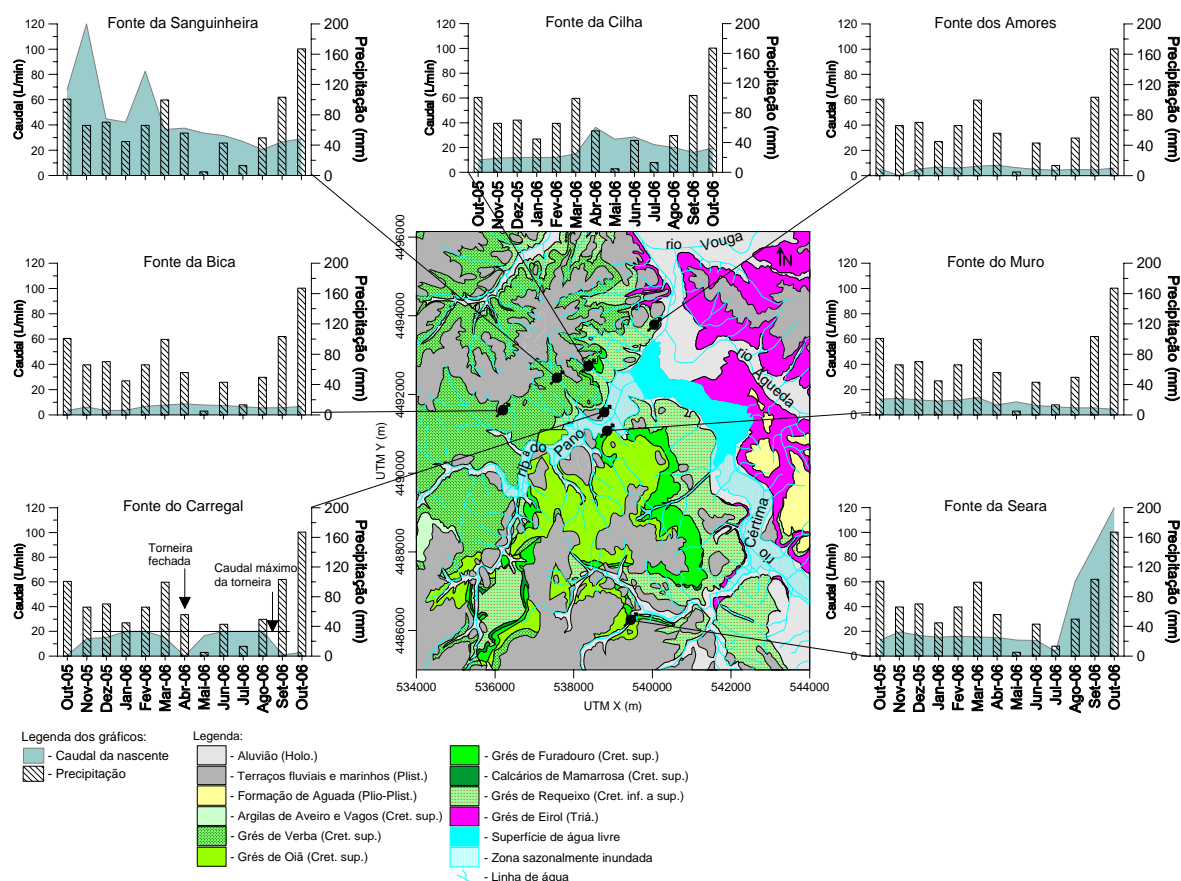


Figura 4.11 – Evolução do caudal das nascentes monitorizadas ao longo de 2005/06.

Os dois picos de caudal observados, em Novembro de 2005 e Fevereiro de 2006, na fonte da Sanguinheira estão relacionados com intervenções de desobstrução da respectiva bica e drenos. Enquanto a subida impressionante de caudal da fonte da Seara a partir de Agosto de 2006 está relacionada com um trabalho de aspiração no espaço anular do poço que alimenta a bica, constituído por cascalho (levado a cabo pela junta de freguesia da Silveira sem o acompanhamento técnico da Câmara Municipal de Oliveira do Bairro). Esta aspiração teve repercussões gravíssimas ao nível da qualidade da água.

A água da fonte da Seara é naturalmente de excelente qualidade, pois está localizada numa zona florestal, existindo apenas um pequeno bar a uma cota inferior à da bica e respectiva zona de influência. No entanto, os trabalhos de aspiração, realizados no final de Julho de 2006, inverteram momentaneamente a direcção do fluxo subterrâneo fazendo com que a fossa do bar, que não está

completamente estanque, contaminasse a água com bactérias fecais. Gradualmente, a fonte da Seara foi mostrando uma acentuada melhoria da qualidade da água, não deixando no entanto de revelar condições impróprias para consumo humano durante pelo menos os três meses que se seguiram à intervenção.

Durante as campanhas de campo diversos habitantes de Fermentelos e Requeixo mencionaram a existência de “olhos de água” no fundo da Pateira de Fermentelos (Anexo A.7), relatados como sendo zonas onde a vara utilizada para navegar com a bateira (que sempre assenta no fundo da lagoa a cerca de 1.5 a 2 m de profundidade, consoante a posição do nível da lagoa), se afunda e não encontra terreno firme. De facto, nas nascentes existentes fora da lagoa, a água ascendente mobiliza areia e argila resultando numa cova de 10 cm (no caso da nascente de S. Paio) ou de 1 m de diâmetro (no caso da nascente de Cruzes (ponto 202) – Figura 4.12), onde o terreno não é firme. A maioria das nascentes características do aquífero freático constituído pelos afloramentos cretácicos permeáveis e os terraços quaternários origina, normalmente um charco. Estes charcos, efémeros ou perenes, parecem corresponder a zonas de maior permeabilidade associadas a zonas onde o fluxo subterrâneo freático apresenta uma acentuada componente vertical ascendente.



Figura 4.12 – Nascente de Cruzes (Oiã), a 21 de Abril de 2006. Esta nascente efémera, durante a época húmida, origina um charco de cerca de 1 m de diâmetro que escoar para uma linha de água que, por sua vez é afluente de margem direita da ribeira do Pano.

A nascente de Cruzes (ponto 202) apresentava, em Abril de 2006, um caudal apreciável, que alimentava a cabeceira de uma linha de água que, por sua vez desemboca na ribeira do Pano. Esta nascente apresenta um carácter efémero, tendo-se observado, em Junho de 2006, no lugar do charco encontrado em Abril desse ano, uma concavidade húmida com uma vegetação

associada que se destaca do pinhal onde se enquadra a nascente, deixando de ocorrer drenagem de água subterrânea através deste ponto.

A existência de toponímia relacionada com locais onde a água subterrânea aflora é bastante comum na zona de estudo. De entre os diferentes nomes cartografados nas cartas militares à escala 1:25000, destacam-se os “Olhos da Azenha”, projectados na zona de Porto da Riba; “Águas Boas”, entre Palhaça e Oiã; ou, ainda “Água em Poças”, na zona de Vila Verde, no concelho de Oliveira do Bairro.

#### **4.6. Modelo conceptual do sistema**

A Pateira de Fermentelos parece ser, para além de um alargamento da parte terminal do rio Cértima, o resultado da acumulação de água drenada das formações aquíferas (freáticas) que a cercam, representando portanto, um afloramento do nível freático deprimido.

Nas elevações localizadas a Noroeste e Oeste da Pateira de Fermentelos, a parte freática do sistema aquífero Cretácico de Aveiro e os terraços quaternários parecem funcionar como um sistema complexo multicamada cuja piezometria, notoriamente influenciada pela rede de drenagem, parece exibir linhas de separação do fluxo subterrâneo coincidentes com o limite da bacia hidrográfica da lagoa, reflectindo o efeito drenante que esta exerce sobre as formações aquíferas freáticas. No lado Este da lagoa, a divisória de água subterrânea freática que circula nos grés triásicos parece coincidir, também, com a divisória de águas superficiais.

A precipitação é a fonte de alimentação directa das formações aquíferas e fonte de alimentação directa e indirecta da lagoa, pois as linhas de água e as formações aquíferas que a alimentam também recebem água da chuva (Figura 4.13).

O aquífero freático, constituído pelos afloramentos cretácicos e quaternários, parece ter como entrada principal a infiltração decorrente da precipitação e como entradas secundárias o retorno de parte da água explorada para fins agrícolas que não é absorvida pelas plantas, bem como as perdas da água distribuída pelos serviços municipalizados de água e saneamento das áreas urbanas localizadas sobre o aquífero freático. Enquanto as entradas da Pateira de Fermentelos são a precipitação directa sobre a superfície de água livre; a drenagem subterrânea; o rio Cértima, a ribeira do Pano e outras ribeiras; e, em determinadas ocasiões o rio Águeda (Figura 4.13).

As saídas do aquífero freático constituído pelos afloramentos cretácicos e quaternários são a drenagem subterrânea para a rede hidrográfica e Pateira de Fermentelos, as extracções que, na maior parte dos casos se destinam a fins agrícolas e domésticos e a drenância para a parte semi-confinada do sistema aquífero Cretácico de Aveiro (Figura 4.13).

As saídas da Pateira de Fermentelos são a descarga para o rio Águeda, a evapotranspiração a partir da superfície de água livre e, com muito menor dimensão, a extracção de água para fins agrícolas das povoações ribeirinhas, parte da qual regressa à lagoa (Figura 4.13).

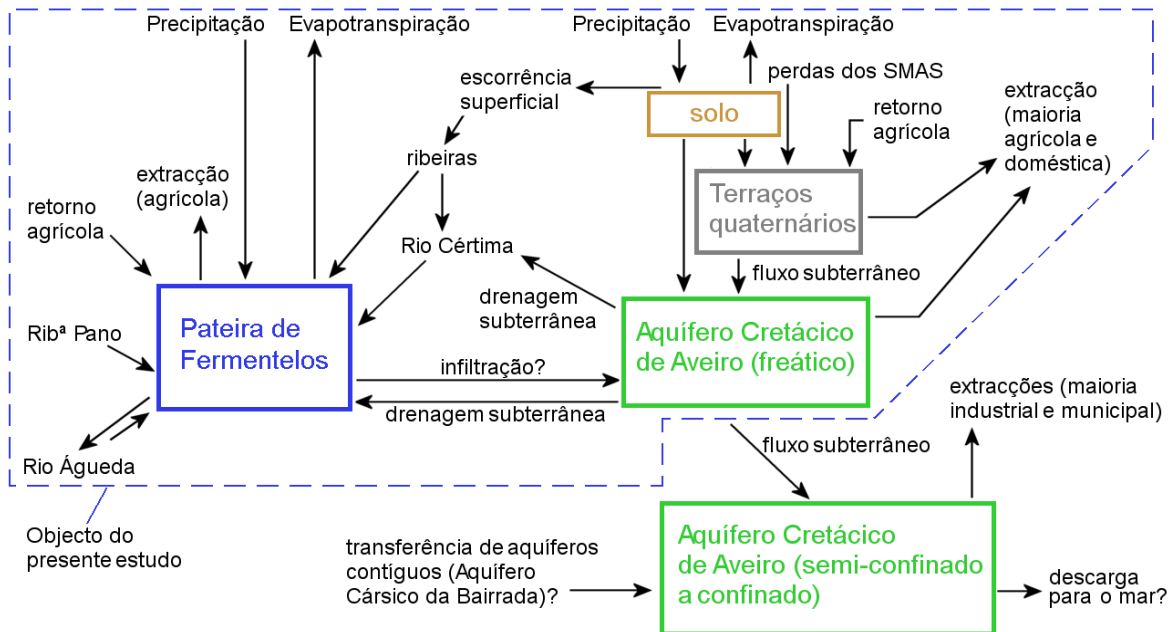


Figura 4.13 – Modelo conceptual da Pateira de Fermentelos e sistema aquífero Cretácico de Aveiro.

Imediatamente após períodos de precipitação intensa, a água da lagoa pode infiltrar-se no sistema aquífero Cretácico de Aveiro, nas zonas marginais mais deprimidas. No entanto, esse volume de água parece ser devolvido à lagoa após a reconfiguração da superfície freática, decorrente da redistribuição do excesso de água no aquífero.

Durante os períodos secos o caudal de base do rio Cértima e consequentemente o nível da lagoa são garantidos pela transferência de água subterrânea para a rede hidrográfica. Este caudal de transferência é difícil de quantificar devido aos métodos inerentes à estimativa do coeficiente de esgotamento, bem como devido à intervenção humana na saída da lagoa durante os períodos secos, que pode mascarar o escoamento natural de base.

A transferência de água subterrânea para a rede hidrográfica parece ser insuficiente para manter o espelho de água da lagoa durante o Verão. A diminuição acentuada da área do espelho de água da lagoa durante o Verão, parece dever-se essencialmente a duas causas: por um lado o caudal subterrâneo drenado para a rede hidrográfica diminui durante a época seca, diminuindo assim o caudal dos afluentes superficiais da Pateira de Fermentelos; por outro lado o nível de base da lagoa – o rio Águeda – desce durante a época seca, favorecendo o escoamento da lagoa e consequente diminuição da área do espelho de água. Este fenómeno obriga à colocação do açude que induz a estabilização do nível de base da Pateira de Fermentelos, e mais tarde pode favorecer a entrada do rio Águeda na lagoa. Na campanha de medição de caudais realizada a 18 de Julho de 2006, em colaboração com a CCDD-Centro, o caudal na ponte de Requeixo era nulo devido à influência do açude.

#### **4.7. Balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero durante o ano de 2005/06**

O balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero durante o ano hidrológico de 2005/06 permite averiguar a ordem de grandeza dos volumes transferidos entre os dois sub-sistemas (lagoa e aquífero) do sistema estudado, bem como identificar se os sub-sistemas se encontram em regime permanente (ou estacionário), onde o volume de água que entra iguala o volume de água que sai, ou em regime transitório, onde ocorre variação do volume de água armazenado pelo sub-sistema, podendo esta variação ser positiva, caso haja aumento do volume de água armazenado, ou negativa se o volume de água armazenado diminuir no final do período em análise.

A identificação dos limites e respectivas áreas dos dois sub-sistemas estudados constituiu o ponto de partida para a realização do balanço hídrico. O contorno da superfície de água livre da lagoa constitui o limite deste sub-sistema e, tendo em conta que a área da superfície de água livre da Pateira de Fermentelos pode variar entre 3 e 9 km<sup>2</sup>, considerou-se para a área da lagoa, a sua média – 6 km<sup>2</sup>. O limite do sub-sistema aquífero freático foi definido a partir do padrão de afloramentos das formações cretácicas permeáveis, constituídas pelos “Grés de Requeixo”; “Grés do Furadouro”; “Calcários da Mamarrosa”; “Grés de Oiã”; e “Grés de Verba”, que afloram dentro da bacia do rio Cértima, bem como o padrão de afloramentos dos terraços quaternários que assentam sobre as formações cretácicas permeáveis.

A necessidade de considerar como um único aquífero freático, os afloramentos permeáveis cretácicos e os afloramentos de terraços quaternários sobrejacentes, deve-se ao facto de a transferência de água subterrânea dos segundos para os primeiros ser relativamente fácil, devido à elevada conexão hidráulica entre ambos, na zona da Pateira de Fermentelos. Assim, intersectando a área da bacia hidrográfica do rio Cértima com a área dos afloramentos cretácicos permeáveis e dos terraços que sobre eles assentam, obteve-se uma área de aproximadamente 158 km<sup>2</sup> (Figura 4.14).

No âmbito do balanço hídrico dos dois sub-sistemas identificaram-se os diversos tipos de entradas e saídas da lagoa e do aquífero freático, tentando encontrar a melhor estimativa para os volumes envolvidos nessas entradas e saídas.

Após realizar várias iterações do balanço hídrico, calculado com o valor de infiltração obtida a partir da estimativa da ETP segundo Thornthwaite (secção do balanço hídrico do solo no ano de 2005/06, Capítulo 3) e com o valor do caudal de drenagem subterrânea obtido através da análise das curvas de esgotamento dos hidrogramas do rio Cértima, na ponte de Requeixo (Capítulo 3), concluiu-se que o primeiro conduzia a um valor de entrada no aquífero muito baixo e o segundo conduzia a um valor de saída muito elevado, contribuindo assim, para um défice hídrico extremamente elevado no aquífero freático, que entrava em contradição com a evolução do nível freático observada ao longo do ano hidrológico estudado.

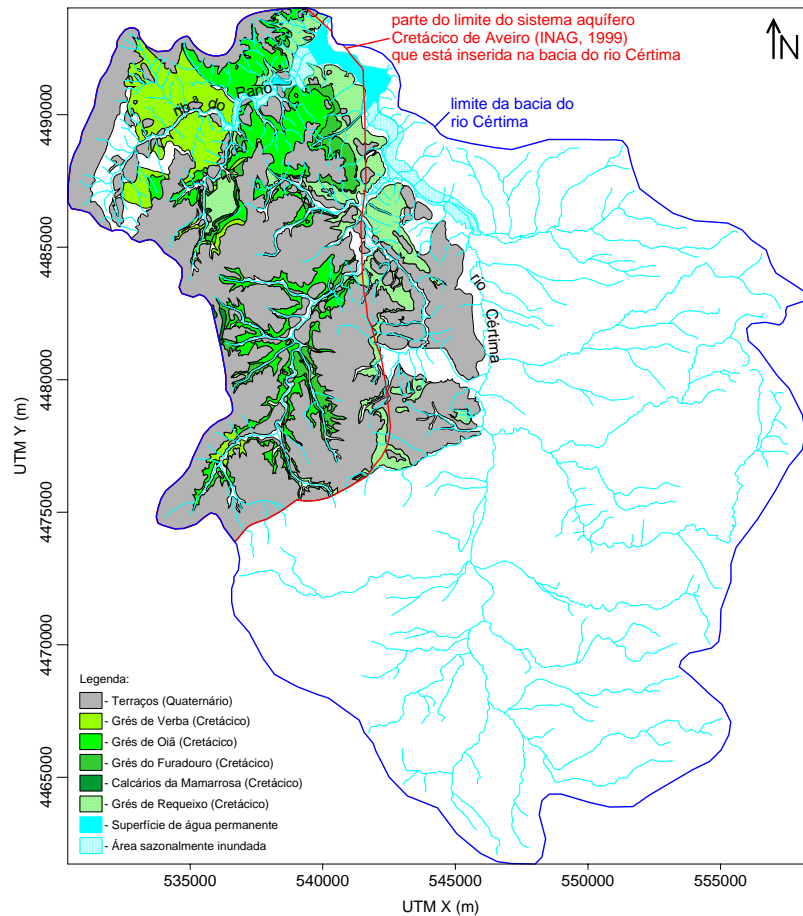


Figura 4.14 – Padrão dos afloramentos do aquífero freático (englobando os afloramentos permeáveis do sistema aquífero Cretácico de Aveiro e os terraços quaternários sobrejacentes) drenados pela bacia do rio Cértima e Pateira de Fermentelos.

Comparando o caudal de água estimado para o rio Cértima na ponte de Requeixo durante o ano hidrológico 2005/06 com o caudal de água subterrânea drenado pela bacia do rio Cértima, obtido através da análise das curvas de esgotamento do rio Cértima na ponte de Requeixo no Capítulo 3, chegou-se à seguinte relação: 35% do caudal do rio Cértima é de proveniência subterrânea, o que parece demasiado elevado, tendo em conta o tipo de formações geológicas presentes na bacia do rio Cértima e o regime hidrológico das linhas de água desta bacia, com alguma tendência para a efemeridade. Assim, e tendo em conta que a estimativa do coeficiente de esgotamento a partir da análise de hidrogramas, que conduziu a este valor, é pouco precisa, optou-se por considerar que, do caudal do rio Cértima na ponte de Requeixo, apenas 15% são de origem subterrânea, sendo os restantes 85% de origem superficial. No entanto, verificou-se que o défice hídrico do aquífero freático se mantinha muito elevado. Deste modo, optou-se por utilizar o valor de ETP estimado pelo método de Penman, em vez daquele obtido pelo método de Thornthwaite que, por depender fundamentalmente da temperatura conduz a valores de ETP bastante mais elevados e, por conseguinte gera uma taxa de infiltração no aquífero muito mais baixa que aquela encontrada através da estimativa da ETP pelo método de Penman.

Ao comparar o volume excedentário ao nível do solo, determinado a partir da estimativa da ETP pelo método de Penman e assumindo uma altura de água utilizável pelas plantas de 100 mm, com o volume infiltrado no aquífero, para um ano hidrológico de características climáticas médias, obteve-se a seguinte relação: o volume infiltrado no aquífero freático corresponde a 43 % do volume excedentário anual, ao nível do solo. Esta relação conduziu a um volume infiltrado durante 2005/06 concordante com os dados de campo, permitindo fechar o balanço hídrico do aquífero com um erro relativamente baixo, como se verá mais adiante.

Após terem sido definidos os limites de ambos os sub-sistemas e se ter explicado os motivos para as alterações aplicadas à estimativa de dois dos fluxos envolvidos no balanço hídrico do aquífero freático, cabe agora referir que o segundo passo consistiu em averiguar o estado em que se encontram, lagoa e aquífero, durante o ano hidrológico 2005/06. Para tal, comparou-se o nível medido no início e no final do período analisado, em ambas as massas de água: lagoa e aquífero freático. O nível da lagoa que serviu para a comparação dos níveis medidos no início e final do ano hidrológico foi aquele medido na Estalagem de Fermentelos (ponto de água 64 – inventário dos pontos de água, Anexo C.1 a C.10), que corresponde sensivelmente ao meio do comprimento da lagoa. Enquanto o nível do aquífero freático que serviu para este fim assentou na média ponderada da diferença de níveis observada em vários poços monitorizados ao longo do ano hidrológico estudado.

Optou-se por realizar a média ponderada da diferença de níveis observados no aquífero freático, devido ao facto de nas zonas topograficamente mais elevadas a variação anual ter sido nula, enquanto nas zonas topograficamente deprimidas e contíguas às zonas húmidas e linhas de água, a variação anual do nível freático foi positiva.

Na Pateira de Fermentelos não foi medido o nível em Outubro de 2005, no entanto, devido à tendência descendente do nível no final do ano de 2005/06, assume-se que a lagoa teria, em Outubro de 2005, sensivelmente o mesmo nível que aquele medido em Outubro de 2006, resultando assim, numa variação nula do volume de água armazenado na lagoa.

Para a estimativa da variação anual do nível no aquífero freático fez-se um balanço entre as áreas mais altas onde a variação anual do nível freático foi praticamente nula, que ocupam aproximadamente 63 % da área do aquífero freático drenada para a Pateira de Fermentelos e rio Cértima, e as áreas de cota mais baixa onde ocorreu uma variação média dos níveis de 0.5 m, ocupando cerca de 37 % da área do aquífero drenada para a Pateira de Fermentelos e rio Cértima.

A partir da variação do nível freático, porosidade e área do aquífero freático drenado para a Pateira de Fermentelos e rio Cértima, pode estimar-se a variação do volume de água armazenado no aquífero freático, através da seguinte fórmula:



$$\Delta S = \Delta z \cdot m_t \cdot A \quad (4.1)$$

Em que,  $\Delta S$  corresponde à variação do volume de água armazenado;  $\Delta z$  corresponde à variação do nível freático;  $m_t$  corresponde à porosidade total; e,  $A$  corresponde à área do aquífero onde ocorreu variação do nível freático. Assim, e tendo em conta que a área do aquífero freático drenada para a Pateira de Fermentelos e rio Cértima ocupa aproximadamente 158 km<sup>2</sup> e, atribuindo um porosidade de 15 % (Condesso de Melo, 2002), obtém-se a seguinte variação do volume de água armazenado pelo aquífero freático:

$$\Delta S = 0.005 \text{ hm} \cdot 0.15 \cdot 15800 \text{ hm}^2 \cdot 0.37 = 4.4 \text{ hm}^3$$

#### 4.7.1. Balanço hídrico do sub-sistema Pateira de Fermentelos

O balanço hídrico da lagoa é realizado tendo em conta que a variação do volume de água armazenado é nula. E, as entradas da lagoa identificadas ao longo deste trabalho são: (1) a precipitação directa sobre a superfície de água livre; (2) o caudal do rio Cértima, na ponte de Perrães; (3) a escorrência superficial, através da ribeira do Pano e outras ribeiras, localizadas a jusante da ponte de Perrães, visto que o caudal do rio Cértima na ponte de Perrães inclui a escorrência superficial que ocorre a montante deste ponto; (4) a drenagem subterrânea das formações aquíferas localizadas a jusante da ponte de Perrães, devido ao motivo apresentado no terceiro ponto desta lista; e, (5) o retorno de parte da água usada para rega que não é absorvida pelas plantas, nos terrenos ribeirinhos que extraem água da lagoa (Figura 4.15).

Das saídas da lagoa identificadas no presente estudo podem-se listar as seguintes: (1) a evapotranspiração a partir da superfície de água livre; (2) o caudal debitado para o rio Águeda na ponte de Requeixo e; (3) a extracção para a agricultura, nos terrenos ribeirinhos, parte da qual volta à Pateira de Fermentelos, dependendo do tipo de rega aplicado, como se verá mais adiante (Figura 4.15).

A precipitação directa sobre a lagoa é calculada multiplicando a precipitação ocorrida no ano de 2005/06 (717.3 mm) pela área média da lagoa (6 km<sup>2</sup>) obtendo-se o seguinte volume de entrada na lagoa a partir da precipitação directa sobre a superfície de água livre:

$$\text{Precipitação directa sobre a lagoa} = 717.3 \cdot 10^{-5} \text{ hm} \cdot 600 \text{ hm}^2 = 4.3 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

O caudal do rio Cértima na ponte de Perrães, que constitui a principal entrada de água superficial na lagoa, foi medido quatro vezes ao longo do ano hidrológico estudado, como se referiu no Capítulo 3 (uma medição em Fevereiro, duas em Maio e uma em Julho), no entanto, estas



medições não são representativas do caudal médio do rio Cértima, pois após várias tentativas para a estimativa do caudal anual a partir destas quatro medições e, calculando o erro de fecho do balanço hídrico da lagoa, concluiu-se que a estimativa para este fluxo era demasiado incerta, conduzindo a erros de fecho do balanço hídrico da lagoa demasiado elevados. Assim, optou-se por estimar este caudal a partir do fecho de balanço e assumindo um erro nulo, o que poderá omitir outros fluxos que provavelmente ocorrem na lagoa, como a infiltração desta para formações aquíferas subjacentes, cujo potencial hidráulico e conexão hidráulica permitam a infiltração da água da lagoa em profundidade. Deste modo apresenta-se o resultado do caudal anual de transferência do rio Cértima para a Pateira de Fermentelos, na ponte de Perrães, após se ter apresentado todos os outros fluxos que permitem realizar o fecho do balanço.

A escorrência superficial, através da ribeira do Pano e outras ribeiras, localizadas sobre a área do aquífero freático a jusante da ponte de Perrães (35 % de 158 km<sup>2</sup>), foi estimada a partir do valor de escorrência superficial obtido na secção do balanço hídrico do solo para 2005/06, que corresponde a 57 %<sup>5</sup> do volume excedentário do solo (191 mm) obtido através da ETP estimada pelo método de Penman. O volume de escorrência superficial que entra para a Pateira de Fermentelos, a jusante da ponte de Perrães, durante o ano de 2005/06, é:

$$\text{Escorrência superficial a jusante da ponte de Perrães} = 0.35 \cdot 15800 \text{ hm}^2 \cdot 0.57 \cdot 191 \cdot 10^{-5} \text{ hm/ano} = 6 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

A drenagem subterrânea das formações aquíferas para a Pateira de Fermentelos, a jusante da ponte de Perrães foi calculada a partir do caudal de drenagem subterrânea para a rede hidrográfica, que se estima corresponder a 15% do caudal do rio Cértima na ponte de Requeixo (136.8 hm<sup>3</sup>/ano, como se verá adiante). A área ocupada pelas formações aquíferas que afloram a jusante da ponte de Perrães, é cerca de 12 % da área da bacia do rio Cértima. Assim, o volume de água subterrânea drenada a jusante da ponte de Perrães que contribui para o aumento do volume de água armazenado na lagoa, durante o ano estudado, é:

$$\text{Drenagem subterrânea a jusante da ponte de Perrães} = 0.12 \cdot 0.15 \cdot (136.8 \text{ hm}^3/\text{ano}) = 2.5 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

Parte da água extraída da Pateira de Fermentelos, para uso agrícola nos terrenos ribeirinhos de Requeixo, Óis da Ribeira e Fermentelos, volta à lagoa, devido à incapacidade das plantas regadas absorverem toda a água que lhes é fornecida através da rega. Segundo Custodio & Llamas

---

<sup>5</sup> Considerando que para um ano de características climáticas médias, o volume excedentário anual (obtido através da estimativa da ETP pelo método de Penman) é de 530 mm e que a escorrência superficial média anual é de 300 mm, obtém-se a seguinte relação: a escorrência superficial é cerca de 57 % do volume excedentário anual.

(2001), na rega por aspersão estima-se um retorno de cerca de 10 % da água extraída, enquanto na rega por encharcamento estima-se um retorno de cerca de 25%. Tendo em conta que durante as campanhas de campo foram identificados terrenos agrícolas ribeirinhos com ambos os métodos de rega, em que aqueles com rega por aspersão representam cerca de 20 % e, sabendo que, anualmente são extraídos da Pateira de Fermentelos cerca de  $2.7 \text{ hm}^3$  para rega dos terrenos ribeirinhos (cuja explicação será apresentada mais adiante), obtém-se o seguinte volume de retorno da agricultura:

$$\text{Caudal que retorna da agricultura} = (0.8 \cdot 0.25 + 0.2 \cdot 0.1) \cdot (2.7 \text{ hm}^3/\text{ano}) = 0.6 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

A saída de água da Pateira de Fermentelos através da evapotranspiração foi calculada a partir do valor de ETP anual, determinado pelo método de Penman que, no caso de uma massa de água com uma superfície de água livre permanente, corresponde à ETP a partir da lâmina livre. Aplicando uma área média de  $6 \text{ km}^2$ , para a superfície de água livre, obtém-se o seguinte valor de ETR:

$$\text{ETR} = 1042 \cdot 10^{-5} \text{ hm/ano} \cdot 600 \text{ hm}^2 = 6.3 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

A saída de água que ocorre através da descarga da lagoa para o rio Águeda foi determinada através do caudal anual médio registado na ponte de Requeixo, num ano hidrológico com o regime pluviométrico mais semelhante àquele ocorrido em 2005/06, visto as três medições de caudal na ponte de Requeixo, realizadas no âmbito deste trabalho durante o ano hidrológico estudado, não permitirem estimar com rigor o caudal anual da descarga para o rio Águeda, tal como acontece na ponte de Perrães. Assim, observando a série contínua de registos pluviométricos datados de 1932 a 2006, do posto udométrico de Oliveira do Bairro, constata-se que no ano hidrológico de 1980/81, ocorreu uma precipitação de 741.6 mm e que, o caudal médio diário do rio Cértima na ponte de Requeixo foi de  $5.8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Assim e, assumindo que durante o período estival de 92 dias, não ocorreu descarga para o rio Águeda, devido à colocação do açude por parte do INAG, que conduziu à estagnação da água neste ponto, obtém-se o seguinte volume de água debitado para o rio Águeda:

$$\text{Caudal debitado para o rio Águeda} = 0.5 \text{ hm}^3/\text{dia} \cdot (365 - 92)(\text{dias}) = 136.8 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

A saída de água da Pateira de Fermentelos através da extracção para uso agrícola foi calculada tendo em conta que os terrenos agrícolas ribeirinhos de Requeixo, Óis da Ribeira e Fermentelos

ocupam cerca de 5.2 km<sup>2</sup> (estimativa feita a partir do mapa de uso do solo, Anexo A.5) e que o tipo de cultivo mais comum é o milho, cujo consumo médio de água é de 5000 m<sup>2</sup>/Ha/ano (Custodio & Llamas, 2001), obtendo-se o seguinte valor para o caudal anual de extracção da lagoa para fins agrícolas:

$$\text{Caudal extraído para rega} = 520 \text{ hm}^2 \times 0.005 \text{ hm/ano} = 2.6 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

Finalmente, através do fecho do balanço hídrico da lagoa, determinou-se o caudal do rio Cértima na ponte de Perrães, que constitui a principal entrada de água superficial na lagoa:

$$\begin{aligned} \Delta S &= (\text{Entradas conhecidas} + \text{Caudal do rio Cértima}) - \text{Saídas} \\ \text{Caudal do rio Cértima} &= \Delta S - \text{Entradas conhecidas} + \text{Saídas} \\ \text{Caudal do rio Cértima} &= 0.0 - 13.4 + 145.7 = 132.3 \text{ hm}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

O valor obtido para o caudal anual do rio Cértima à entrada da Pateira de Fermentelos representa cerca de 97 % do caudal anual do rio Cértima, na ponte de Requeixo, à saída da lagoa, o que parece aceitável, tendo em conta a contribuição da escorrência superficial, da drenagem subterrânea e da precipitação que cai sobre a lagoa, bem como a importância da ETR como saída da Pateira de Fermentelos.

#### 4.7.2. Balanço hídrico do sub-sistema aquífero freático

O balanço hídrico para o ano de 2005/06 do aquífero freático, constituído pelos afloramentos cretácicos permeáveis e os afloramentos de terraços quaternários que sobre eles assentam, foi realizado tendo em conta que em 37 % da área do aquífero ocorreu uma variação positiva do nível freático de 0.5 m e que os restantes 63 % da área do aquífero apresentaram uma variação nula do nível freático. As entradas identificadas ao longo deste trabalho são: (1) a infiltração dos excedentes hídricos do solo provenientes da precipitação que cai sobre o aquífero; (2) as perdas da rede de distribuição de água potável e da rede de drenagem de águas residuais; e, (3) o retorno de parte da água extraída para rega (Figura 4.15).

As saídas do aquífero freático são: (1) a drenagem para a rede hidrográfica; (2) a extracção para fins agrícolas; e, (3) a extracção para abastecimento da população de Fermentelos (Figura 4.15).

A infiltração a partir dos excedentes hídricos ocorridos durante o ano hidrológico ao nível do solo foi estimada através da relação encontrada entre a infiltração e os excedentes hídricos anuais ao nível do solo (determinados a partir da ETP estimada pelo método de Penman) para um ano com características climáticas médias, como se viu anteriormente. Sabendo que 43 % do volume excedentário anual ao nível do solo (191 mm) infiltra-se no aquífero, e que a área deste é de

158 km<sup>2</sup>, o volume de entrada a partir da infiltração da fracção dos excedentes hídricos que ocorrem ao nível do solo e não escorrem superficialmente é:

$$\text{Infiltração} = 0.43 \cdot 191 \cdot 10^{-5} \text{ hm/ano} \cdot 15800 \text{ hm}^2 = 13 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

As perdas da rede de distribuição de água potável e de drenagem de águas residuais que se infiltram, contribuindo para a recarga do aquífero freático, foram calculadas assumindo que cerca de 10 % da água potável distribuída é perdida para o meio ambiente e que cerca de 2 % da água residual drenada é também perdida. Assim e, tendo em conta o volume de água potável distribuída e o volume de água residual drenada por cada concelho intersectado pela área do aquífero freático, obtém-se uma entrada no aquífero de 0.2 hm<sup>3</sup>/ano (Tabela 4.1).

Concelho	Área do Concelho (km <sup>2</sup> )	Consumo de água <sup>1</sup> (1x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Águas residuais drenadas <sup>1</sup> (1x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Área do concelho drenada (km <sup>2</sup> )	Área do concelho drenada (%)	Perda antes do consumo (m <sup>3</sup> )	Perda de água residual (m <sup>3</sup> )
Águeda	335	1656	1162	7.5	2.2	3707	520
Anadia	216	1766	280	64	29.6	52326	1659
Aveiro	200	4399	4677	27	13.5	59387	12628
Oliveira do Bairro	87	610	488	74	85.1	51885	8302
Cantanhede	392.18	2373	789	5	1.3	3025	201
Vagos	164	518	263	10	6.1	3159	321
Total							0.2 hm <sup>3</sup>

Tabela 4.1 – Volume das perdas de água potável e água residual das redes de distribuição e drenagem dos concelhos intersectados pela área do aquífero freático. 1 – Dados obtidos de INE, 2003.

O retorno de parte da água extraída para rega foi calculado a partir do volume de extracção para fins agrícolas (1.1 hm<sup>3</sup>) estimado a partir da área ocupada por culturas anuais (Instituto do Ambiente, 2006) e o tipo de cultura mais comum na área de estudo (como se verá adiante). Tendo em conta que durante as campanhas de campo realizadas foram observados diversos terrenos cartografados no mapa de uso do solo como sendo terrenos agrícolas, sem uso agrícola, optou-se por assumir que apenas 10% dos 44.6 km<sup>2</sup> de área ocupada por culturas anuais é efectivamente explorado e, estimando que 20 % do caudal extraído para fins agrícolas é regado por aspersão (com perdas de 10 %) e que os restantes 80 % são regados por encharcamento (com perdas de 25%), o volume devolvido ao aquífero pela rega é de:

$$\begin{aligned} \text{Caudal que retorna da agricultura} &= 0.8 \cdot 0.25 \cdot 1.1 \text{ hm}^3/\text{ano} + 0.2 \cdot 0.1 \cdot 1.1 \text{ hm}^3/\text{ano} = \\ &= 0.2 \text{ hm}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

A drenagem do aquífero freático para a rede hidrográfica, quer através de nascentes; quer através da zona hiporreica, que corresponde à zona de transição entre a água subterrânea e a água superficial, das diversas massas de água superficial, foi calculada a partir do caudal de drenagem subterrânea para a rede hidrográfica, estimado de 20 % do caudal do rio Cértima na ponte de Requeixo durante o ano 2005/06 ( $136.8 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ).

Tendo em conta que as formações geológicas que afloram na bacia do rio Cértima apresentam condutividades hidráulicas muito distintas, optou-se por considerar não apenas a área de afloramento do aquífero freático na determinação da sua contribuição para a transferência de água subterrânea para a rede hidrográfica, mas também, a sua condutividade hidráulica relativa. Assim, tendo em conta que os afloramentos do aquífero freático ocupam 30 % da bacia do rio Cértima e que a sua condutividade hidráulica é a mais elevada de todas as formações geológicas presentes na bacia do rio Cértima, representando cerca de 53 % da condutividade hidráulica média ponderada pela área de afloramento das distintas formações geológicas, obtém-se o seguinte volume anual de drenagem subterrânea do aquífero freático para a rede hidrográfica:

$$\text{Drenagem para a rede hidrográfica} = (0.15 \cdot 136.8 \text{ hm}^3/\text{ano} \cdot 0.3/2) + (0.15 \cdot 136.8 \text{ hm}^3/\text{ano} \cdot 0.53/2) = 8.5 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

A extracção para abastecimento da população de Fermentelos foi consultada no Plano Municipal da Água (Departamento de Ambiente e Ordenamento, U.A., 2006) referente ao volume extraído do poço com drenos radiais, localizado em Fermentelos (ponto de água número 219, do inventário realizado no âmbito deste trabalho), cujo valor para 2005 é de  $177181 \text{ m}^3$ , o que equivale a cerca de  $0.2 \text{ hm}^3/\text{ano}$ .

A extracção para fins agrícolas foi calculada partindo do pressuposto que apenas 10 % da área ocupada por culturas anuais ( $44.6 \text{ km}^2$ ) que consta no mapa de uso do solo (Anexo A.5) é efectivamente explorada para fins agrícolas, sendo a maioria dos terrenos explorados ocupada pelo cultivo de produtos hortícolas, cujo consumo médio de água é de  $2500 \text{ m}^3/\text{Ha}/\text{ano}$  (Custodio & Llamas, 2001). Multiplicando o volume extraído anualmente para rega deste tipo de cultivo por 10 % da área ocupada por culturas anuais, obtém-se o seguinte caudal de água extraído do aquífero freático para fins agrícolas:

$$\text{Caudal extraído para fins agrícolas} = 0.1 \cdot 4460 \text{ hm}^2 \cdot 0.0025 \text{ hm}/\text{ano} = 1.1 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

O fecho do balanço hídrico do aquífero freático permite averiguar a magnitude do erro associado à estimativa dos volumes envolvidos nas entradas e saídas do aquífero freático, bem como, através

do sinal do erro, averiguar se o balanço é deficitário ou excedentário em água. Assim, o balanço hídrico do aquífero freático pode ser explicado pela seguinte equação:

$$\Delta S \pm \text{erro} = \text{Entradas} - \text{Saídas}$$

$$4.4 \pm \text{erro} = 13.4 - 12.7$$

$$\text{Erro} = 13.4 - 9.8$$

$$\text{Erro} = \pm 0.8 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

A magnitude do erro associado ao balanço hídrico do aquífero freático é relativamente aceitável, tendo em conta a imprecisão da estimativa de diversos fluxos envolvidos neste balanço, dos quais se destaca o volume extraído para fins agrícolas e a drenagem para a rede hidrográfica, representando este último cerca de 87 % das saídas do aquífero freático. Comparando o valor do erro com o valor da variação de armazenamento de água no aquífero freático, constata-se que o erro representa cerca de 18 % da variação de armazenamento de água no aquífero, o que parece relativamente elevado. No entanto, se se comparar o erro com os fluxos de entrada e saída do aquífero, o valor do erro do fecho de balanço representa cerca de 6 % das entradas e das saídas, o que parece relativamente aceitável, tendo em conta a incerteza associada à estimativa de alguns fluxos importantes deste sub-sistema (Figura 4.15).

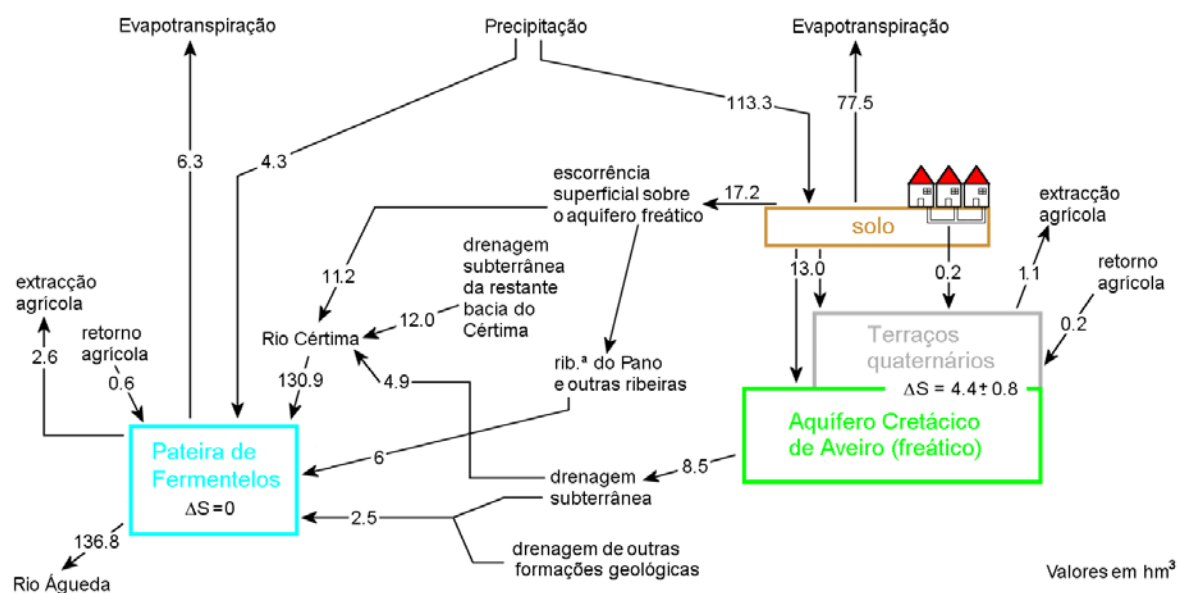


Figura 4.15 – Balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero freático, durante o ano hidrológico de 2005/06.

O balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero freático permitiu obter uma ordem de grandeza dos fluxos envolvidos nas entradas e saídas dos dois sub-sistemas, bem como identificar a importância do fluxo de transferência do aquífero freático para a rede hidrográfica, que representa

cerca de 87 % das suas saídas; a importância da evapotranspiração a partir da lâmina livre da lagoa, representando cerca de 4 % das suas saídas e, supera em cerca de 46 % a precipitação caída sobre a superfície da lagoa, fenómeno que terá repercussões na concentração dos elementos na água da lagoa.

## **CAPÍTULO 5**

### **HIDROQUÍMICA**

A composição química das águas subterrâneas e superficiais na zona de estudo é, em primeiro lugar, influenciada pela composição da água da chuva, visto ser esta a sua principal origem. Ao atingir o solo, a água da chuva, que entretanto dissolveu poeiras e aerossóis e se tornou ligeiramente ácida devido à dissolução do dióxido de carbono atmosférico, entra em contacto com o solo e reage com este adquirindo uma nova composição que reflecte o tipo e uso do solo. Parte desta água irá escoar directamente para as massas de água superficial, como a Pateira de Fermentelos, rio Cértima e ribeira do Pano, influenciando a composição química destas; enquanto outra parte, irá infiltrar-se até atingir as massas de água subterrânea e reagir com os minerais constituintes das formações geológicas por onde circula.

A assinatura hidrogeoquímica resultante das interacções entre a água e as formações geológicas por onde circula será tanto mais marcante, quanto maior for o tempo de residência da água no meio aquífero e quanto mais solúveis forem os minerais presentes. A água subterrânea que entretanto reagiu com a matriz do aquífero pode surgir nas nascentes e alimentar linhas de água que finalmente irão desembocar na Pateira de Fermentelos.

A qualidade da água da Pateira de Fermentelos é, portanto, um reflexo do tipo e uso dos solos da bacia do rio Cértima, dos processos biológicos vigentes na zona ripícola e das reacções água-rocha que influenciam a assinatura hidroquímica das águas subterrâneas drenadas pela bacia do rio Cértima e pela própria lagoa.

A caracterização hidrogeoquímica apresentada no presente capítulo foi feita a partir da análise detalhada dos mecanismos condicionadores da assinatura hidroquímica da Pateira de Fermentelos e da sua relação com as formações aquíferas circundantes, dedicando especial atenção ao sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona onde se comporta como livre a semi-confinado.

São, também, apresentados os métodos de amostragem de água utilizados, bem como os métodos analíticos aplicados na quantificação dos parâmetros físico-químicos determinados.

#### **5.1. Amostragem**

A caracterização hidrogeoquímica da zona de estudo foi realizada através dos resultados obtidos em dois tipos de estudo: amostragem e análise mensal dos parâmetros físico-químicos, aniões maiores, nitrito e amónio, de dez pontos de água, para caracterização da evolução temporal longo do ano hidrológico 2005/06 e; a caracterização hidroquímica detalhada de vinte e oito pontos de água, visando o estudo da variabilidade espacial.



A amostragem de água para a análise química mensal, foi sempre antecedida pela medição, em campo, com eléctrodos HANNA® de pH, potencial redox (mV), condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), teor total de sais dissolvidos (mg/L), oxigénio dissolvido (mg/L) e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Após a estabilização destes parâmetros procedeu-se à titulação com ácido sulfúrico de 100 mL da amostra, para determinação do teor em bicarbonatos, ao que se seguiu a recolha de 250 mL da amostra, para análise do teor em cloreto; sulfato; nitrato; nitrito e amónio, no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Para a medição, em campo, dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, recorreu-se a uma célula de fluxo que permite a introdução de todos os eléctrodos e a circulação contínua da água bombada ou drenada, evitando o contacto directo da água subterrânea com a atmosfera (Figura 5.1). As amostras de água subterrânea foram filtradas no campo com filtro de  $0.45\ \mu\text{m}$ , seringa e respectivo porta filtros, enquanto as águas superficiais, por conterem grandes quantidades de matéria orgânica e sedimentos em suspensão que dificultam a filtragem em campo, foram filtradas no laboratório, com o mesmo tipo de filtro, em unidades de filtragem. Estas funcionam com a descida gravítica de água através do filtro ou mediante a criação de vácuo no copo receptor e consequente imposição da passagem de água através do filtro.



Figura 5.1 – Célula de fluxo com eléctrodos para medição de parâmetros físico-químicos em águas subterrâneas (neste caso a fonte de Água em Poças, ponto 134 do inventário de pontos de água) (autoria: Sena, 2006).

Os dez pontos de água amostrados mensalmente (Figura 5.2) incluem um poço de 6 m localizado em Fermentelos (ponto 63), que capta os Grés grosseiros inferiores; uma fonte localizada em Requeixo (fonte da Cilha, ponto 7) que drena os Grés micáceos; um furo de 180 m (ponto 67) localizado em Requeixo, que capta a base dos Grés grosseiros inferiores e os grés triásicos; um

furo de 70 m de profundidade na Zona Industrial de Oiã (ponto 127), que capta os Grés micáceos, um local no rio Cértima a montante (ponto 65) e outro a jusante da Pateira de Fermentelos (ponto 69) e quatro locais na lagoa (pontos 64, 70, 80 e 94).

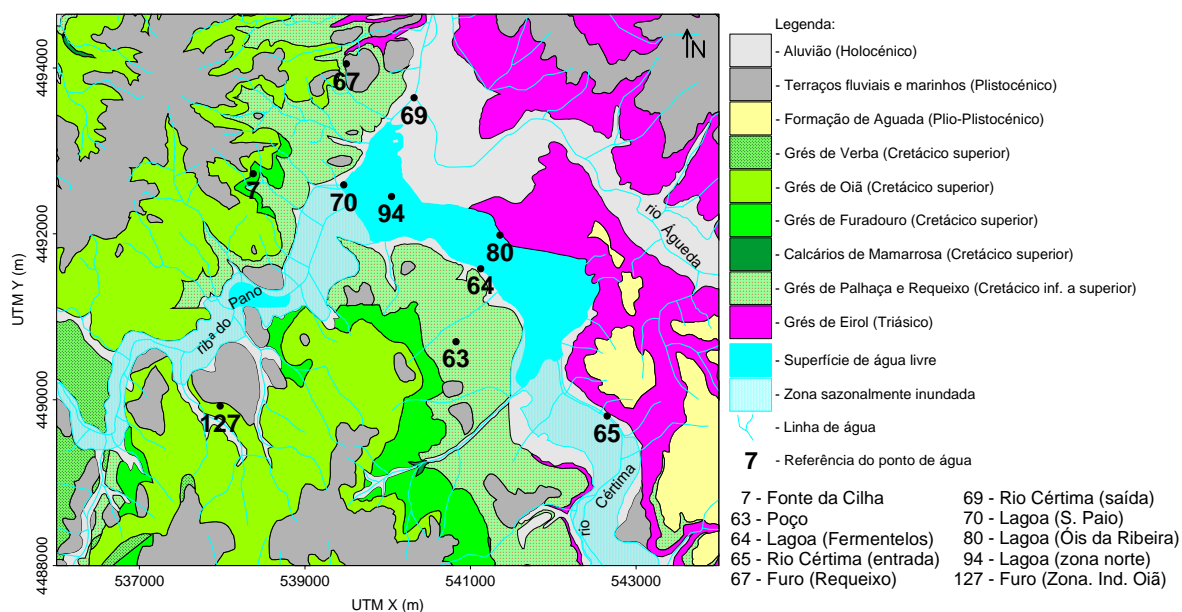


Figura 5.2 – Localização dos pontos de água amostrados mensalmente (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998).

Em Abril de 2006 foi realizada uma campanha de amostragem alargada, onde se colheram vinte e oito amostras de água para análise química de elementos maiores, menores e traço (Figura 5.3 e Anexo C.11). Destas vinte e oito amostras, dez são aquelas analisadas mensalmente, enquanto as restantes dezoito serviram para caracterizar melhor a variabilidade espacial das águas superficiais e subterrâneas da área de estudo.

Na campanha de amostragem de águas realizada em Abril de 2006, nos dez locais amostrados mensalmente foram colhidos 250 mL para análise dos parâmetros analisados mensalmente e, mais duas amostras: uma de 60 mL para repetição da análise de aniões (e comparação dos resultados) e outra de 30 mL, acidificada a pH inferior a 2, com ácido nítrico ultra puro, para análise de catiões, ambas analisadas no *Activation Laboratories* (Ontário, Canadá). Nos restantes dezoito locais amostrados em Abril de 2006, colheu-se uma amostra de 60 mL e outra de 30 mL acidificada, que foram também analisadas no *Activation Laboratories*.

Em Junho de 2006 foram colhidas três amostras de água que, pelas suas características, representam casos excepcionais de composição química das águas subterrâneas e superficiais da área de estudo, que merecem ser estudadas. Estas amostras foram analisadas em aniões e catiões maiores, no Laboratório de hidroquímica do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (Figura 5.3).

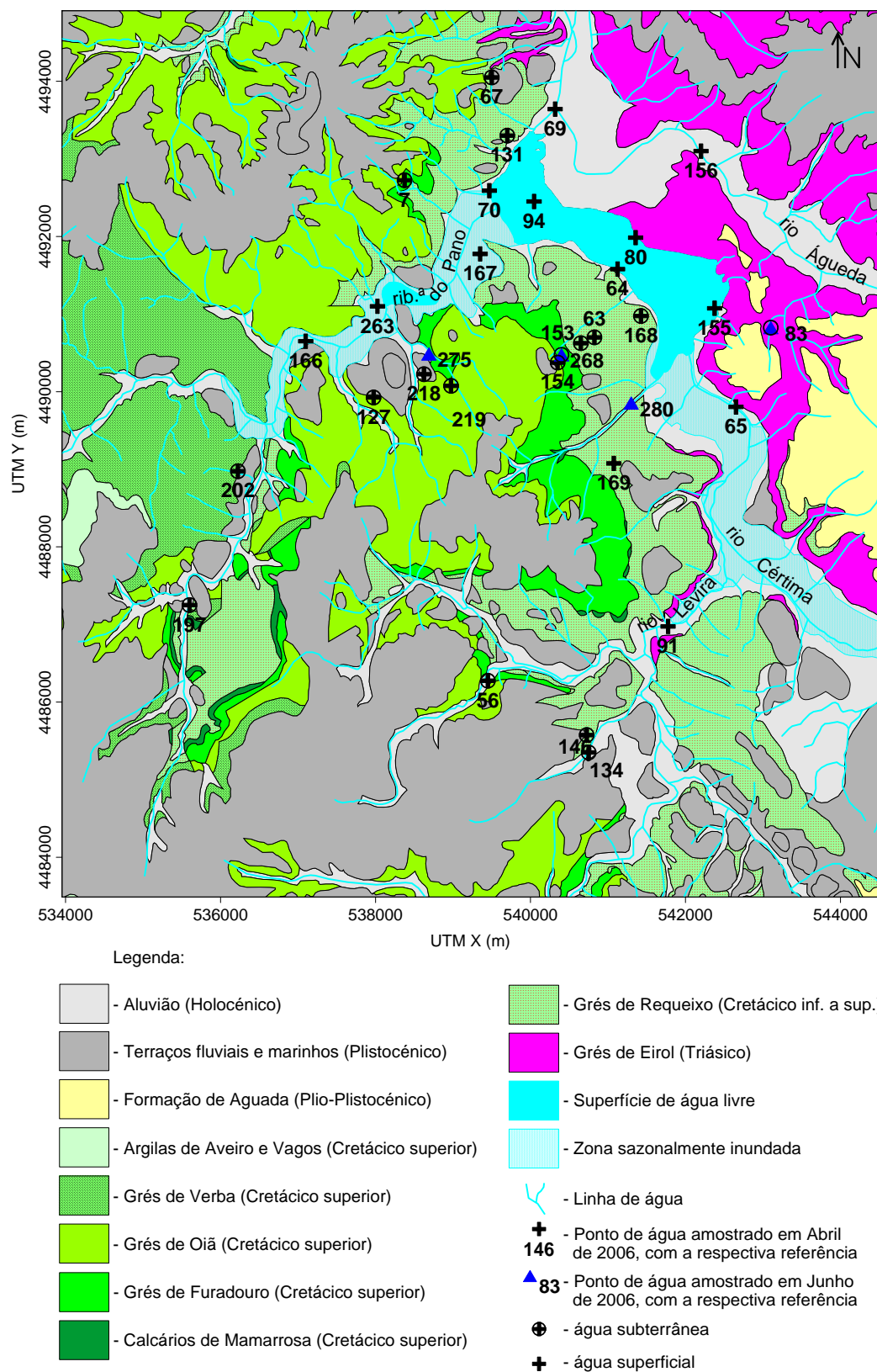


Figura 5.3 – Localização das amostras colhidas na campanha alargada de Abril de 2006 e em Junho de 2006, sobre o mapa geológico da zona da Pateira de Fermentelos (geologia digitalizada a partir de Barbosa, 1981, Teixeira & Zbyszewski, 1976 e Barra, 1998).

## 5.2. Métodos analíticos

Todos os meses, no final de cada campanha de campo, as dez amostras de água colhidas foram preservadas refrigeradas, num máximo de 24 horas, para que a concentração em amónio e nitrito não se alterasse. Seguidamente foram colocadas à temperatura ambiente e preparadas para a análise do teor em amónio e nitrito através do método espectrofotométrico proposto pela EPA (EPA, 1982), utilizando um espectrofotómetro Spectronic® 2000.

A análise do teor em cloretos, nitratos e sulfatos foi feita através do método de cromatografia iónica, utilizando um cromatógrafo DIONEX 2000i com um *loop* de 50µL e um integrador SPECTRA PHYSICS.

Na campanha mais abrangente realizada em Abril de 2006, colheu-se, em cada local de amostragem, uma amostra de 30 mL acidificada, que foi analisada por espectrometria de massa, por fonte induzida de plasma (ICP-MS) e por espectrometria de emissão óptica, por fonte induzida de plasma (ICP-OES), para determinação dos elementos maiores, menores e traço; e, uma amostra de 60 mL, que foi analisada por cromatografia iónica, para determinação do teor em cloretos, nitratos, sulfatos, fosfatos, brometos e fluoretos.

A condição de electroneutralidade foi usada como controle de qualidade dos resultados de todas as determinações realizadas em Abril de 2006 e, só balanços iónicos com erros de fecho inferiores a  $\pm 5\%$  foram considerados aceitáveis. Tendo-se verificado que as vinte e oito amostras analisadas cumpriam este requisito procedeu-se ao processamento da informação de todas as análises.

## 5.3. Factores modificadores da assinatura hidroquímica

### 5.3.1. Factores geológicos

A assinatura hidroquímica da Pateira de Fermentelos reflecte, para além da influência antrópica e dos mecanismos biogeoquímicos que se desenrolam na lagoa e zonas húmidas adjacentes, as diversas fontes que a alimentam, como a água da chuva, a água superficial e subterrânea drenada pela bacia do Cértima e, a água subterrânea que é transferida directamente, lateralmente ou através do leito da lagoa, ou indirectamente, através das nascentes localizadas nas proximidades da lagoa. De forma a compreender os mecanismos modificadores desta assinatura hidroquímica interessa identificar os principais minerais constituintes das formações geológicas drenadas pela bacia do rio Cértima e pela própria lagoa.

A bacia do rio Cértima é constituída maioritariamente por rochas sedimentares silicatadas, tipicamente com elevada inércia química e, em menor proporção por rochas carbonatadas, por vezes ricas em gesso, capazes de imprimir forte influência na assinatura hidroquímica das águas superficiais e subterrâneas.

A assinatura hidroquímica das águas subterrâneas da zona de estudo reflecte, para além da influência dos diversos efluentes antrópicos, as reacções químicas que se desenrolam devido à interacção água-solo e água-rocha. O sistema aquífero Cretácico de Aveiro é constituído maioritariamente por rochas sedimentares ricas em grãos de quartzo e outros silicatos, que apresentam tipicamente elevada inércia química, enquanto as restantes formações geológicas apresentam alguns minerais mais reactivos, como carbonatos, sulfatos e oxihidróxidos de ferro.

A Formação carbonatada e os calcários jurássicos, que afloram na bacia do rio Cértima, pela sua composição geoquímica, têm minerais mais solúveis que as formações silicatadas e, portanto, serão capazes de influenciar mais eficazmente a composição química das águas subterrâneas e superficiais. A Formação carbonatada ocorre de forma descontínua na sequência cretácica, daí que, na maior parte da área de estudo, o sistema aquífero Cretácico de Aveiro contenha água ligeiramente ácida e subsaturada em calcite, no entanto, quando a água subterrânea circula tempo suficiente pela Formação Carbonatada, os minerais carbonatados que a constituem poderão reagir com a água enriquecendo-a em cálcio e bicarbonato. Este tipo de interacções água-rocha é comprovado por fenómenos como a precipitação de tufos calcários associados a nascentes (Figura 5.1), onde a despressurização da água promove a libertação do dióxido de carbono dissolvido na água subterrânea, que é induzida a precipitar calcite, quando emerge nas nascentes. Normalmente, associadas às nascentes, ocorrem plantas que, ao realizarem a fotossíntese também contribuem para o empobrecimento da água que aflora na nascente, em dióxido de carbono, contribuindo, do mesmo modo que a despressurização, para a formação de tufos calcários, que são rochas sedimentares continentais de precipitação química, associadas a águas ricas em carbonatos, normalmente muito porosas e pulverulentas.

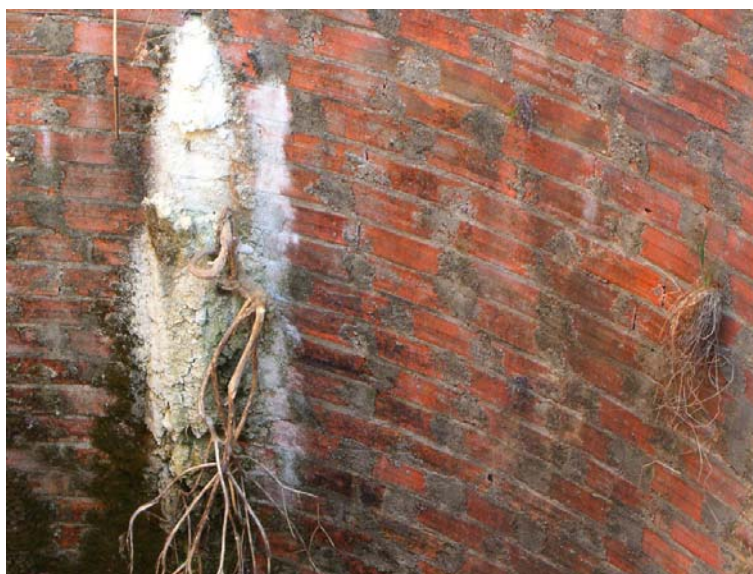


Figura 5.4 – Tufo calcário associado a uma nascente efémera no interior de um poço localizado no Carregal, Requeixo (ponto 138 do inventário de pontos de água, Anexos C.1 a C.10) (autoria: Sena, 2006).



Os grés triásicos, ricos em óxidos de ferro poderão, em condições mais redutoras, aportar ferro e outros metais associados às águas subterrâneas e superficiais que por eles circulam.

Um dos factores mais importantes que influencia a dinâmica das reacções que ocorrem na interface água-rocha é a superfície específica das partículas rochosas, pelo que se procurou reunir a informação disponível acerca da composição mineralógica da fracção inferior a 38 µm, das principais formações aquíferas, presentes na área de estudo e que se encontram resumidas na Tabela 5.1 (Rocha, 1993):

<b>Formação geológica</b>	<b>Principais minerais argilosos</b>	<b>Minerais argilosos secundários</b>	<b>Principais minerais da fracção &lt; 38 µm</b>	<b>Minerais secundários da fracção &lt; 38 µm</b>	<b>Minerais acessórios da fracção &lt; 38 µm</b>
Grés triásicos	Ilite e clorite	Caulinite e esmectite	Feldspato potássico	Plagioclase e dolomite	Gesso, jarosite, zeólitos e goethite
Calcários jurássicos	Caulinite, ilite e esmectite sódica	Clorite	Feldspato potássico, calcite e dolomite	Plagioclase e calcite	Gesso, anidrite e outros sulfatos, zeólitos e pirite
“Grés de Requeixo”	Caulinite e ilite	Esmectite cálcica, por vezes sódica	Feldspato potássico	Plagioclase, dolomite e calcite	Gesso, anidrite e outros sulfatos, zeólitos, goethite, opala e pirite
Formação carbonatada	Caulinite, ilite e esmectite	Clorite	Calcite	Feldspato, plagioclase, dolomite	Gesso, anidrite e outros sulfatos, zeólitos, opala, pirite e halite
“Grés do Furadouro”	Caulinite, ilite e esmectite sódica	Interestratificados e clorite	Feldspato potássico	Dolomite, calcite e plagioclase	Gesso e outros sulfatos, pirite, zeólitos e material carbonoso
“Grés de Oiã”	Caulinite e ilite	Esmectite cálcica, por vezes sódica	Plagioclase	Feldspato potássico, calcite e dolomite	Goethite, zeólitos, gesso e outros sulfatos e pirite
“Grés de Verba”	Caulinite, esmectite e ilite	Interestratificados e clorite	Feldspato potássico e plagioclase	Dolomite e calcite	Zeólitos, gesso, anidrite e outros sulfatos, opala, pirite e goethite
“Argilas de Aveiro e Vagos”	Ilite e esmectite	Caulinite	Feldspato potássico, plagioclase e dolomite	Calcite	Opala, zeólitos, gesso, anidrite e outros sulfatos e pirite
Terraços quaternários	Ilite, caulinite e esmectite	Vermiculite e clorite	Plagioclase e feldspato potássico	Dolomite e calcite	Gesso e outros sulfatos, opala, gibbsite, goethite, zeólitos e pirite

Tabela 5.1 – Minerais da fracção inferior a 38 µm presentes nas formações geológicas (a partir de Rocha, 1993).

### 5.3.2. Factores hidrobiogeoquímicos

Os ciclos biogeoquímicos dos elementos envolvem trocas entre a biosfera, a geosfera e a hidrosfera (Figura 5.5). Os elementos disponíveis, em solução ou sob a forma gasosa, são assimilados pelas plantas e microrganismos, parte dos quais são transferidos aos organismos heterotróficos, sendo mais tarde libertados pela respiração, decomposição da matéria orgânica, lixiviação dos tecidos vivos e mortos e mineralização realizada por determinados microrganismos.

Nestes ciclos, os minerais podem ser dissolvidos no meio hídrico, tornando-se disponíveis para a biosfera, ou reprecipitados sob a forma de minerais secundários, que por sua vez poderão ser dissolvidos (Likens & Bormann, 1995).

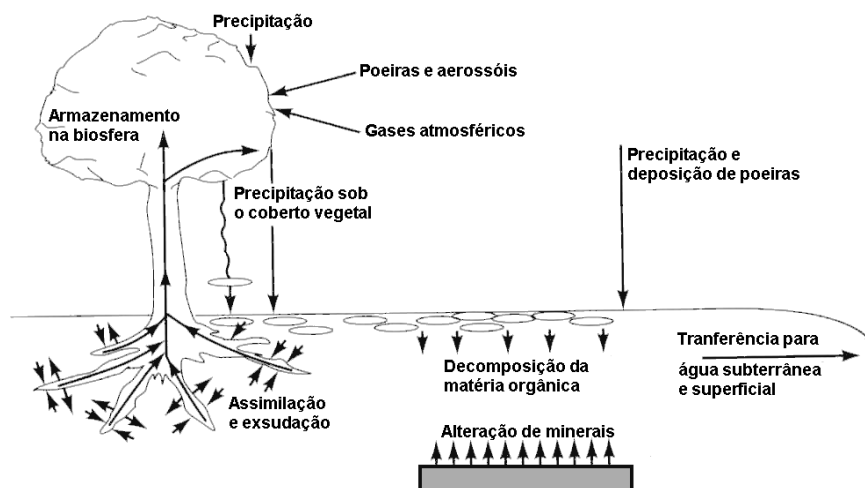


Figura 5.5 – Reciclagem biogeoquímica (adaptado de Berner & Berner, 1996).

Os seres vivos têm um papel determinante na regulação dos elementos maioritários no meio hídrico, visto que os principais nutrientes utilizados pelos seres vivos são o sulfato, nitrato, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e carbono, que regulam a taxa de crescimento e desenvolvimento dos seres vivos (Berner & Berner, 1996). Deste modo, a concentração dos elementos no meio hídrico depende, entre outros factores, do estado de desenvolvimento das diversas espécies existentes num ecossistema. Durante os períodos de crescimento e desenvolvimento, as plantas absorvem os nutrientes, removendo-os temporariamente do meio hídrico. No entanto, quando morrem a matéria orgânica entra em decomposição, ficando novamente disponíveis, para o desenvolvimento da biosfera, os nutrientes que outrora tinham sido assimilados.

A decomposição da matéria orgânica, para além de libertar elementos que antes tinham sido removidos do sistema, liberta dióxido de carbono, com o consequente consumo de oxigénio, aumentando a acidez do meio e, podendo também, caso não haja reposição do oxigénio consumido, originar meios redutores propícios à mobilização de metais e outros elementos que em ambientes oxidantes dificilmente entram em solução.

O dióxido de carbono produzido durante a decomposição da matéria orgânica e respiração dos seres vivos, ao entrar em solução e baixar o pH da água, induz a dissolução de minerais carbonatados e silicatados. Os ácidos húmicos e flúvicos orgânicos existentes no solo também podem atacar determinados minerais libertando metais e nutrientes (Berner & Berner, 1996).

Nas zonas marginais da Pateira de Fermentelos e, principalmente na confluência da ribeira do Pano com a lagoa e na zona de Febres e Perrães (entrada do rio Cértima na lagoa), existem extensas planícies de inundação, por onde a água circula lentamente num intrincado padrão de canais anastomosados. A vegetação destas zonas é dominada pelo caniço (*Phragmites australis*), espécie com elevada capacidade de assimilação de substâncias orgânicas e nutrientes inorgânicos (Todorovics *et al.*, 2005, entre outros), constituindo, por isso, um elemento fundamental para o abrandamento da eutrofização da Pateira de Fermentelos. Esta planta também apresenta elevada eficácia na remoção de metais pesados, nomeadamente cobre, níquel, cádmio, zinco e chumbo, que parece aumentar à medida que avança o seu período de crescimento (Bragato *et al.*, 2006, Southichak, B. *et al.*, 2006, entre outros). Por outro lado, o crescimento e expansão da população do caniço contribui para o assoreamento da lagoa, na medida em que a acumulação dos tecidos mortos destas plantas, conjugada com o aprisionamento de água e sedimentos pelas suas raízes e caules, origina a deposição de sedimentos e consequentemente a progressão das margens em direcção à superfície de água livre (Figura 5.6).

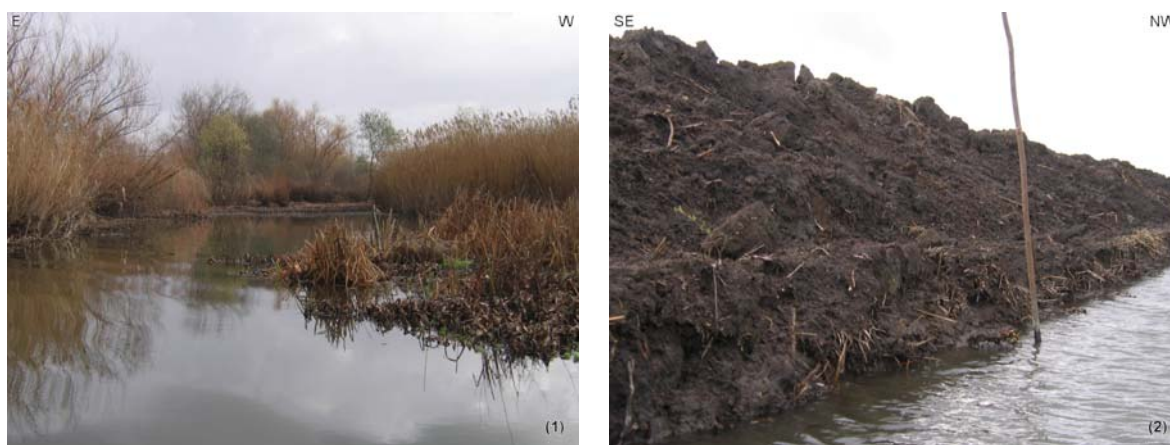


Figura 5.6 – Distintos aspectos das margens dos canais que ligam a Pateira de Fermentelos ao rio Águeda, imediatamente a montante da ponte de Requeixo, em Fevereiro de 2006 (autoria: Sena, 2006). Legenda: 1 – margens cobertas de caniço, durante a fase do ciclo de vida em que a sua actividade biológica está reduzida ao mínimo, devido às baixas temperaturas que se fazem sentir nesta altura do ano e; 2 – margens mobilizadas pelo INAG para alargamento de um dos dois canais de escoamento da Pateira de Fermentelos. Os sedimentos removidos, ricos em restos vegetais reflectem a contribuição das plantas para o aprisionamento de sedimentos e consequente assoreamento da lagoa (autoria: Sena, 2006).

No sentido de conter o avanço do pântano e assegurar o correcto escoamento da Pateira de Fermentelos durante a época húmida, mitigando a ocorrência de cheias e possibilitando o escoamento dos jacintos-de-água que ocupam a superfície de água livre da lagoa, o INAG realiza diversas obras de manutenção das margens dos dois canais que ligam a Pateira de Fermentelos ao rio Águeda (Figura 5.6). Estas operações contribuem para a manutenção da superfície de água livre da lagoa e abrandam o seu assoreamento, no entanto, ao exporem os sedimentos do fundo



da lagoa e respectivos canais a novas condições hidrogeoquímicas, onde predominam reacções de oxidação, a qualidade da água pode deteriorar-se, devido à oxidação de elementos que, enquanto imersos e perante condições mais redutoras se encontravam relativamente imóveis (fora da fase aquosa), retidos nos sedimentos e dificilmente disponíveis para absorção biológica.

O jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes*), espécie alóctone e evasiva, apresenta um ciclo de vida bem marcado. Durante os meses de temperatura amena, que começam em Maio, desenvolvem-se e reproduzem-se a uma elevada velocidade, duplicando a sua população entre 6 a 18 dias (Department of Ecology, Washington State, 2006), e originando um extenso manto de plantas flutuantes na superfície da lagoa, que atinge o seu máximo em Novembro, caso não ocorram períodos de geada precoces. A partir de Dezembro e até Abril, a população vai sendo fustigada pelo frio, originando em Fevereiro/Março, um extenso manto de plantas em decomposição (Figura 5.7).

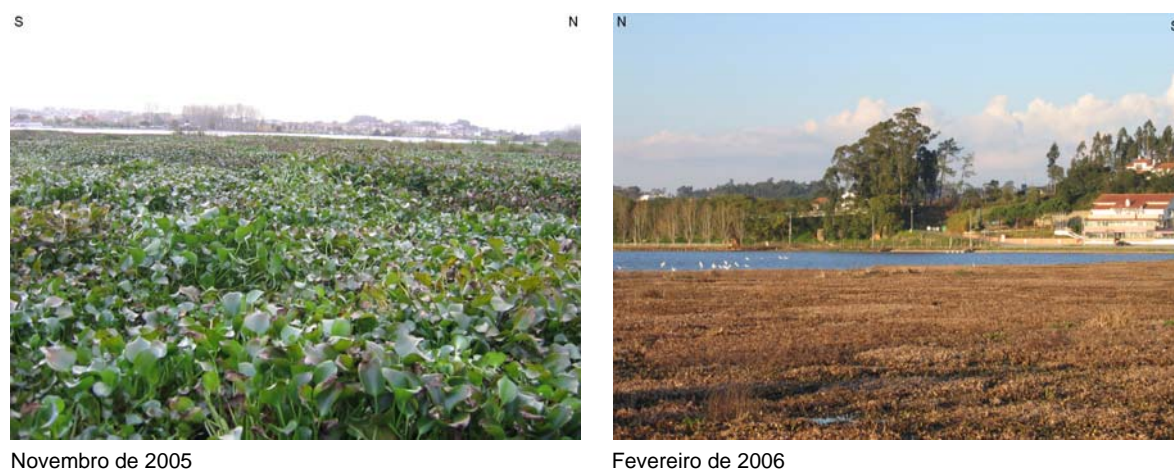


Figura 5.7 – Aspecto do manto de jacintos em distintas alturas do ano. Novembro de 2005: devido ao facto de o Outono de 2005 não ter sido muito frio, com escassa ocorrência de geadas, o manto de jacintos-de-água permaneceu, até Novembro de 2005, com coloração verde, reflexo da actividade biológica. Fevereiro de 2006: com a ocorrência de geadas, o manto de jacintos-de-água adquire cor acastanhada, reflexo da estagnação da actividade biológica, que conduz à decomposição dos tecidos mortos (autoria: Sena, 2006).

O jacinto-de-água, devido ao seu rápido desenvolvimento, absorve enormes quantidades de nutrientes, prevenindo, do mesmo modo que o caniço, a eutrofização da Pateira de Fermentelos. Para além desta importante capacidade, o jacinto-de-água tem também, a capacidade de acumular diversos metais, como o cobre, chumbo, crómio, zinco, e níquel (Maine *et al.*, 2006 e Vesik & Allaway, 1997, entre outros), contribuindo assim para atenuação da contaminação do meio hídrico por metais pesados.

O manto de jacintos-de-água que se desenvolve sazonalmente, pode implicar o empobrecimento da água da lagoa em oxigénio, pois a interface água – ar fica de tal forma reduzida que as trocas gasosas se tornam escassas e consequentemente, a reposição do oxigénio consumido pelos seres aquáticos aeróbios pode diminuir drasticamente, induzindo um ambiente anóxico na lagoa,

com todas as implicações ambientais que isso acarreta. Durante as campanhas de campo realizadas mensalmente, foi observado este fenómeno no canal que liga a Pateira de Fermentelos ao rio Águeda (ponto de água 69), nomeadamente, em Setembro de 2006, quando foram medidos os parâmetros físico-químicos, a água estava coberta por jacintos-de-água vivos e a concentração em oxigénio dissolvido medida nesse momento foi de 0 mg/L, o que poderá dever-se ao efeito bloqueador das trocas gasosas imposto pelo manto originado por estas plantas.

A Pateira de Fermentelos e respectivas planícies de inundação, constituem uma zona húmida com um lago permanente, onde predominam os fenómenos típicos de ambientes de baixo hidrodinamismo e zonas sazonalmente inundadas onde se faz sentir a oscilação sazonal do nível de água. Nestas zonas sazonalmente inundadas (que correspondem às planícies de inundação adjacentes à lagoa e principais afluentes), o regime hidrológico variável ao longo do ano, induz a alternância de períodos em que se instalam ambientes oxidantes, aquando da emersão estival e, períodos em que predominam ambientes redutores, aquando da imersão devida à subida do nível de água da lagoa durante o período húmido (Figura 5.8). Esta alternância de imersão e emersão dos sedimentos tem implicações na mobilização de metais e outros elementos. Normalmente, imediatamente após os períodos secos e durante as primeiras chuvas, os elementos outrora retidos nos sedimentos tornam-se mais móveis, sendo lixiviados para a Pateira de Fermentelos, enquanto, durante os períodos húmidos, quando os sedimentos estão imersos, podem instalar-se condições favoráveis à retenção de metais.



Figura 5.8 – Ribeira do Pano em distintas alturas do ano hidrológico. Legenda: 1 – Ribeira do Pano em Setembro de 2006, com o leito seco, exibindo profundas fendas de dessecação (Setembro de 2006); 2 – Ribeira do Pano em Dezembro de 2006, no final de um Outono muito pluvioso, apresentando uma superfície de água livre que cobre quase toda a planície de inundação (Dezembro de 2006) (autoria: Sena, 2006).

Na lagoa, os metais transportados pelos seus afluentes superficiais e subterrâneos, podem ser removidos do meio hídrico aquando da deposição dos sedimentos finos, devido à complexação dos metais com compostos orgânicos; à adsorção dos metais à matéria orgânica (que se decompõe no fundo da lagoa) e partículas argilosas (que se depositam); ou ainda, através da co-

precipitação dos metais com carbonatos, silicatos e oxihidróxidos de ferro, manganês e alumínio (Adriano, 2001).

As massas de água doce superficial associadas a zonas húmidas, por conterem elevada quantidade de substâncias húmicas capazes de se complexarem com metais ou de os adsorverem, apresentam elevada capacidade de retenção de metais. Ao interferirem na especiação dos metais, através da interacção com a matéria orgânica e proporcionarem ambientes redutores onde certos metais podem ser retidos, as zonas húmidas influenciam de forma significativa a mobilidade, biodisponibilidade e toxicidade dos metais (Adriano, 2001).

Ao comparar os resultados da extracção selectiva aplicada aos sedimentos das sub-bacias do rio Águeda e do rio Cértima, Reis (2000) constatou que, apesar de se observarem concentrações de metais mais elevadas na sub-bacia do rio Cértima, é no rio Águeda que os metais se encontram em maior proporção sob a forma potencialmente disponível. Segundo esta autora, a fase orgânica e a fase trocável e carbonatada desempenham, na bacia do rio Cértima, um papel importante na fixação dos metais.

As reacções de oxidação-redução que predominam nos sedimentos do fundo da lagoa e nas planícies de inundação, quando imersas, alteram o estado de oxidação dos metais e outros elementos, consumindo de forma preferencial o oxigénio, azoto, manganês, ferro, enxofre e o carbono, que funcionam como receptores de electrões em ambientes redutores (Schlesinger, 1997; Adriano, 2001; entre outros). Na zona de estudo, a Pateira de Fermentelos representa uma zona húmida de baixo hidrodinamismo, favorável à instalação de ambientes redutores.

Os sedimentos das linhas de água, por estarem associados a um regime hidrodinâmico mais elevado que o da lagoa e planícies de inundação adjacentes, geralmente não atingem potenciais redox tão baixos como aqueles observados no leito da lagoa, pois o fluxo das linhas de água promove a mobilização dos sedimentos e consequente reposição do oxigénio.

Os mecanismos hidrogeoquímicos mencionados serão tão mais eficientes quanto maior for o tempo de residência da água em determinado meio (Figura 5.9). Na atmosfera, a precipitação tem um tempo de residência relativamente curto, comparativamente com o tempo de residência nos aquíferos, possibilitando assim uma curta gama de reacções. O curto tempo de residência da água da chuva permite apenas a ocorrência de dissolução e sorção de sais às partículas em solução, enquanto no solo podem ocorrer reacções mais lentas como a dissolução de gases ou a aproximação do equilíbrio entre água e algumas fases minerais. O solo, por estar em permanente troca com a atmosfera, é geralmente rico em oxigénio, microrganismos que mantêm uma estrutura arejada no solo e microrganismos que catalizam a maioria das reacções hidrogeoquímicas, acelerando-as e promovendo o enriquecimento da água em sais. Deste modo, é no solo que a composição química da água se altera de forma mais significativa e mais depressa.

Os tempos de residência característicos das massas de água superficial continentais, são geralmente muito mais elevados que o tempo de residência da água da chuva na atmosfera, possibilitando assim, a ocorrência de outro tipo de reacções hidrogeoquímicas, cuja cinética é mais lenta que aquela característica das reacções que predominam na água da chuva. Por outro lado, o facto de existirem ecossistemas geralmente muito produtivos, associados às massas de água superficial continentais, promove, como acontece no solo, a aceleração de reacções que, em ambientes essencialmente inorgânicos, decorreriam em períodos de tempo muito mais longos.

Os aquíferos, constituem as massas de água continental com maior tempo de residência. Num aquífero freático, o tempo de residência da água pode variar entre alguns dias a alguns anos, enquanto num aquífero confinado a semi-confinado, o tempo de residência da água pode variar entre alguns meses a milhares de anos. Estes elevados tempos de residência permitem a concretização de interacções água-rocha que geralmente são muito lentas. No entanto, nos ambientes essencialmente abióticos e por vezes anóxicos dos aquíferos, o papel dos microrganismos como mediadores das reacções químicas é muito menor do que no solo, sedimentos e massas de água superficiais, onde a abundância de microrganismos favorece a cinética química.

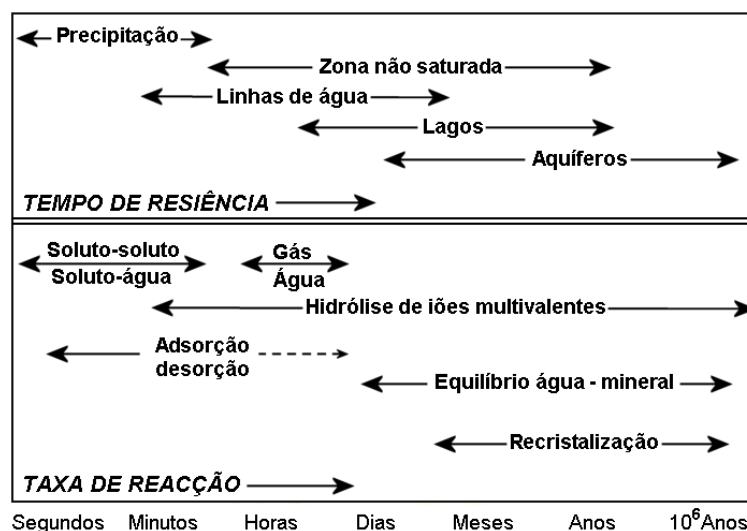


Figura 5.9 – Tempo de residência versus taxa das reacções mais comuns nos meios aquáticos (a partir de Langmuir, 1997).

### 5.3.3. Factores antrópicos

As distintas actividades antrópicas desenvolvidas na bacia do Cértima exercem uma influência determinante na composição das águas superficiais e subterrâneas freáticas. Das actividades que exercem maior impacto no meio hídrico podem-se destacar o lançamento de águas domésticas

residuais não tratadas ou com tratamento precário, o lançamento de efluentes industriais com tratamento deficitário e a aplicação intensiva de adubos e pesticidas na agricultura.

No mapa de uso do solo da bacia do Cértima (Anexo A.5) destaca-se de imediato a grande área ocupada pela vinha e culturas anuais, que totalizam 43 % da área da bacia. Estas actividades agrícolas envolvem a aplicação de adubos azotados e fosfatados, bem como de pesticidas sulfatados, que quando aplicados intensivamente, originam a adição de nitratos, sulfatos e elementos traço ao meio hídrico.

As áreas urbanas e industriais representam apenas 6 % da bacia do Cértima (Anexo A.5), no entanto, os elevados volumes de produção de efluentes envolvidos nas respectivas actividades urbanas e industriais, exercem forte pressão antrópica sobre o meio hídrico, não só através do lançamento de resíduos industriais, que em princípio sofrem um tratamento prévio antes de serem lançados para o meio ambiente, como também, devido à produção de águas residuais domésticas, associada aos trabalhadores envolvidos nas distintas unidades industriais. Estas podem ou não estar ligadas à rede de saneamento, dependendo da opção da direcção da unidade industrial e, no segundo caso, serão as próprias unidades industriais a responsabilizarem-se pelo tratamento dos efluentes, quer industriais, quer domésticos e, posterior encaminhamento para o meio hídrico. Segundo informação obtida junto das Câmaras Municipais de Oliveira do Bairro e Águeda, são diversas as unidades industriais que optam por gerir o tratamento e destinos dos respectivos efluentes, sem que haja um controlo rigoroso dos processos envolvidos.

A empresa de Saneamento Integrado dos Municípios da Ria (SIMRIA) é responsável pela recolha, tratamento e rejeição dos efluentes domésticos e industriais gerados nos municípios pertencentes ao sistema multimunicipal de saneamento da Ria de Aveiro (que abrange a maior parte da zona de estudo), sendo os efluentes tratados lançados *offshore*, ao largo de Cacia e da Zona Industrial da Mota, em Ílhavo (SIMRIA, 2006). No entanto, cabe ao cliente final, que corresponde aos proprietários dos distintos imóveis, domésticos e industriais, realizar ou não a ligação dos respectivos efluentes ao sistema da SIMRIA (Batel, 2005, Com. Oral e Pato, 2005, Com. Oral). Durante as campanhas de campo, foram identificados diversos casos, em que particulares optaram por não ligar os seus esgotos à SIMRIA, recorrendo em alternativa, a fossas sépticas ou, no caso de algumas unidades industriais, recorrendo a um sistema de tratamento de efluentes próprio, lançando posteriormente os efluentes tratados para as linhas de água.

Devido ao facto de as autoridades municipais não realizarem um controlo suficientemente rigoroso quer das condições das fossas sépticas e destino dos efluentes aí acumulados; quer da qualidade dos efluentes das unidades industriais que se responsabilizam por tratar os seus efluentes e lançá-los para o meio ambiente, a pressão decorrente destas acções sobre a qualidade das águas e dos sedimentos é, na área de estudo, ainda bastante elevada.

Das actividades industriais existentes na bacia do rio Cértima aquelas que contêm o maior número de empresas são o fabrico de produtos metálicos; o tratamento de superfícies metálicas e a

produção de alimentos e bebidas (onde se inserem as produtoras de vinho), aos quais se segue a produção cerâmica (ACIB, 2004). O fabrico de produtos metálicos envolve o manuseamento e consequente rejeição de metais pesados, como o arsénio, crómio, níquel e zinco, entre outros, através do lançamento de águas residuais industriais que, pelo Decreto-Lei 236/98 têm de sofrer um tratamento adequado para neutralizar o pH e diminuir a concentração de metais em solução, antes de se lançar as águas residuais industriais para as linhas de água.

A produção de bebidas, que na bacia do rio Cértima corresponde maioritariamente à produção de vinho, envolve, como foi referido anteriormente, o tratamento da vinha com pesticidas sulfatados (nomeadamente “calda bordalesa”, constituída por sulfato de cobre) que podem contaminar o aquífero freático e as linhas de água.

A produção cerâmica envolve a cozedura de argilas em fornos de alta temperatura, que podem libertar metais pesados e fluoretos para a atmosfera, que mais tarde podem ser depositados pela precipitação ou deposição seca. Os tratamentos dos produtos cerâmicos, podem implicar a utilização de metais pesados como o molibdénio como metal refractário ou ainda o cobalto como agente de secagem na aplicação de vernizes e vidrados, entre outros (Adriano, 2001).

As diversas redes viárias que atravessam a bacia do rio Cértima, das quais se destacam pelo seu volume de tráfego e por atravessarem longitudinalmente a bacia, a auto-estrada A1, a estrada nacional nº 1 e a linha ferroviária do Norte (Anexo A.8), constituem outro foco de poluição, principalmente por metais pesados e hidrocarbonetos que, ao degradarem-se podem libertar, entre outras substâncias, cloretos.

As espécies químicas efluentes das principais actividades desenvolvidas na área de estudo apresentam-se na Tabela 5.1:

Actividade		Elementos e iões	Metais pesados
Agricultura	Fertilizantes	B, Br, $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , K, $\text{PO}_4^{3-}$	Zn, Mn, Fe, Cu, Mo, Cr, Ni
	Pesticidas e cal	Ca, Mg, Si, Al	V, As, Pb, Hg, Zn, Cu
Metalurgia			As, Ni, Cu, Co, Zn, Pl, Mn
Cerâmica			Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Mo
Viação			Pb, Zn, Cd, Cu, Ni
Resíduos sólidos urbanos		B	Zn, Cu, Ni
Águas residuais domésticas		$\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , B, Cl, $\text{PO}_4^{3-}$	Cd, Zn, Cu, Ni, Pb

Tabela 5.2 – Espécies químicas efluentes das principais actividades desenvolvidas na área de estudo (adaptado de Berner & Berner, 1996 e de Adriano, 2001).

## 5.4. Análise e discussão dos resultados

### 5.4.1. Caracterização hidroquímica baseada na análise dos parâmetros físico-químicos e distribuição dos elementos maiores

A água da chuva da região estudada é uma solução ligeiramente ácida (pH 6), muito pouco mineralizada, com uma fácies hidroquímica mista que reflecte a influência da dissolução de poeiras continentais e aerossóis marinhos (Condesso de Melo, 2002). Será portanto, a partir desta solução que todas as águas continentais evoluirão, reagindo com o solo, as rochas, os seres vivos, os efluentes e resíduos das diversas actividades antrópicas, originando as distintas composições químicas observadas nas águas superficiais e subterrâneas da área de estudo.

A caracterização hidroquímica das amostras de água superficial e subterrânea (freática e confinada a semi-confinada) foi feita a partir de vinte e oito amostras colhidas em Abril de 2006 (analisadas nos respectivos elementos maiores, menores e traço, cujos resultados constam no Anexos C.12 a C.14) e quatro amostras colhidas em Junho de 2006 (analisadas em elementos maiores), que pela informação que aportam permitem identificar casos excepcionais de composição hidroquímica (Figura 5.3 e Figura 5.10). Assim, podem-se constatar as seguintes características principais (Anexos C.15 a C.17):

- As águas superficiais podem-se dividir em três conjuntos consoante a sub-bacia em que se encontram: a sub-bacia do rio Cértima tem águas bicarbonatadas cálcicas, com uma condutividade eléctrica média de 531  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mineralização média de 358 mg/L) e um pH médio de 7.4; a sub-bacia da ribeira do Pano tem águas bicarbonatado-cloretadas calco-sódicas, com uma condutividade eléctrica de 427  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mineralização média de 300 mg/L) e um pH médio de 6.7 e; a sub-bacia do rio Águeda tem águas cloretadas sódicas, com uma condutividade eléctrica de 96  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mineralização de 67 mg/L) e um pH de 6.2.
- As águas do aquífero freático que captam ou drenam maioritariamente os Grés grosseiros inferiores, Grés grosseiros superiores e Grés micáceos, em locais onde parece não existir significativo impacto antrópico, são cloretadas sódicas, com uma condutividade eléctrica média de 115  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mineralização média de 80 mg/L) e um pH médio de 5.2.
- As águas do aquífero freático que captam ou drenam as mesmas unidades que as anteriores, mas parecem sofrer diversos impactos antrópicos são cloretadas cálcicas, calco-sódicas e calco-magnesianas, com uma condutividade eléctrica média de 606  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mineralização média de 424 mg/L) e um pH de 6.2.
- As águas subterrâneas com influência dos grés triásicos (pontos 83 e 67) tendem a ser bicarbonatado-sulfatadas calco-sódicas a calco-magnesianas, com uma condutividade eléctrica média de 647  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mineralização média de 550 mg/L) e um pH médio de 7.6.



- As águas subterrâneas que circulam pelos calcários jurássicos são, normalmente, sulfatadas calco-sódicas e tendem a ter mineralização muito elevada, como se pode constatar pela dimensão dos diagramas de Stiff das amostras 218 e 268, com uma condutividade eléctrica média de 890 e 4070  $\mu\text{S/cm}$  (mineralização de 623 e 2840 mg/L), respectivamente e um pH médio de 7.2.
- A amostra 275 corresponde ao efluente de uma indústria metalúrgica que é lançado para a ribeira do Pano. Esta água é sulfatada sódica, com uma condutividade eléctrica de 2880  $\mu\text{S/cm}$  (mineralização de 1400 mg/L) e um pH de 7.6.
- A amostra 280 localiza-se numa pequena linha de água que passa por zonas agrícolas e urbanas. Esta água é cloretada cálcica, com uma condutividade eléctrica de 1010  $\mu\text{S/cm}$  (mineralização de 708 mg/L) e um pH de 7.9.

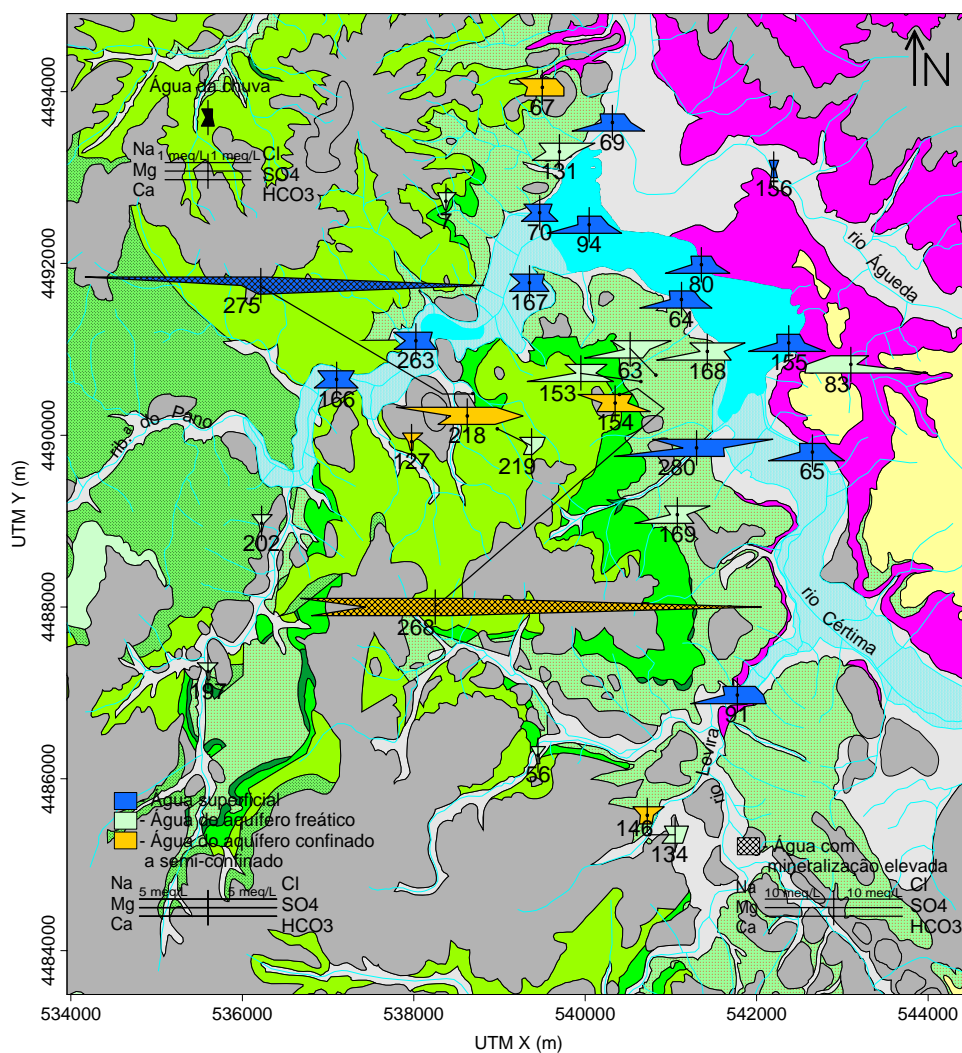


Figura 5.10 – Diagramas de Stiff das amostras analisadas em componentes principais (Legenda da geologia consta no mapa da Figura 5.3).



As distintas fácies hidroquímicas que caracterizam as águas estudadas reflectem, em primeiro lugar, as litologias atravessadas e os mecanismos biogeoquímicos que alteram a composição hidroquímica da água da chuva que cai sobre a área estudada e, em segundo lugar as actividades antrópicas capazes de mascarar a assinatura hidrogeoquímica natural.

As águas da sub-bacia do Cértima, reflectem a passagem por formações calcárias do Jurássico, que afloram a montante da área estudada. Estas rochas, apesar de representarem apenas 9 % das litologias que afloram na sub-bacia do rio Cértima, devido à sua relativa baixa inércia química, são capazes de se sobrepor à assinatura hidroquímica imposta pelas rochas silicatadas que dominam a sub-bacia, originando assim, águas bicarbonatadas cálcicas, bastante mineralizadas.

As águas da sub-bacia da ribeira do Pano, com fácies mistas e mineralização um pouco mais baixa que as da sub-bacia do Cértima, parecem reflectir a presença das distintas litologias do Cretácico, predominantemente silicatadas, com um pequeno nível descontínuo carbonatado – a Formação carbonatada e, provavelmente, alguma contribuição das actividades industriais, agrícolas e domésticas que se desenvolvem nesta sub-bacia.

A água do rio Águeda, com uma mineralização extremamente baixa e uma fácies cloretada sódica parece reflectir a predominância de rochas graníticas e metamórficas desta sub-bacia, cuja cinética química bastante lenta favorece a ocorrência de águas de baixa mineralização.

As águas subterrâneas freáticas e profundas, com distintas fácies hidroquímicas e distintos graus de mineralização, reflectem as diversas litologias atravessadas, onde predominam os minerais silicatados. A presença, embora menos frequente, de minerais mais solúveis, como os carbonatos, presentes na Formação carbonatada e nos calcários jurássicos, onde também ocorrem gessos e outros sulfatos, também se faz sentir em alguns dos pontos de água amostrados. As distintas pressões antrópicas a que estão sujeitas as águas subterrâneas freáticas, parecem ser capazes de modificar, em determinados locais, a assinatura hidroquímica natural, como se verá ao longo deste capítulo.

A fácies hidroquímica da lagoa (bicarbonatada cálcica) reflecte maior influência do quimismo do rio Cértima que de todas as outras entradas, nomeadamente o aquífero Cretácico de Aveiro freático, a drenagem dos grés triásicos e a ribeira do Pano.

A projecção das amostras no diagrama de Piper (Figura 5.11) confirma as principais fácies hidroquímicas descritas através da análise dos diagramas de Stiff, bem como a proveniência principal das águas estudadas – a água da chuva, visto esta projectar-se aproximadamente no centro da projecção das amostras de água subterrânea e superficial, analisadas no âmbito deste estudo.

A projecção das amostras do aquífero freático no diagrama de Piper estende-se entre um extremo mais cálcico e um extremo mais sódico-potássico, enquanto as amostras do aquífero semi-confinado são mais sódico-potássicas e, as águas superficiais são mais cálcicas. Relativamente

aos aniões, as amostras de águas subterrâneas (quer freáticas, quer semi-confinadas) distribuem-se entre um extremo mais bicarbonatado e outro mais cloretado, enquanto as superficiais são mais bicarbonatado-sulfatadas. Este padrão de distribuição dos três tipos de água amostrados reflecte a evolução das águas superficiais e subterrâneas semi-confinadas a partir das águas subterrâneas freáticas, pois o padrão de distribuição destas últimas no diagrama de Piper abrange as áreas geradas pela projecção dos outros dois tipos de água (subterrânea semi-confinada e superficial), excepto para o ião sulfato, relativamente às amostras do efluente industrial (ponto 275) e do furo que capta os calcários jurássicos, com elevada condutividade eléctrica (ponto 268).

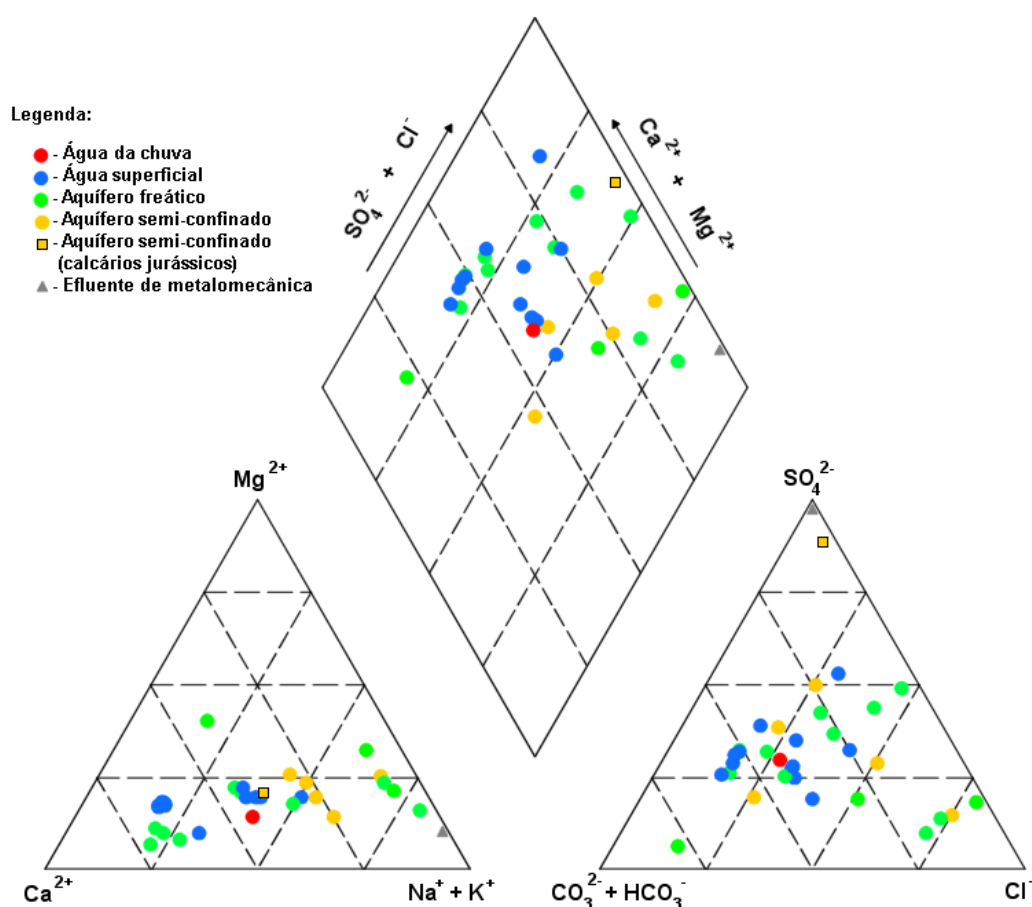


Figura 5.11 – Projeção das amostras analisadas no diagrama de Piper.

A distribuição do nitrato nas águas estudadas parece estar intimamente relacionada com a ocupação urbana e agrícola (Anexo A.9), sendo as mais afectadas as águas do sistema aquífero Cretácico de Aveiro freático, subjacente ou próximo de terrenos agrícolas e algumas linhas de água. Esta elevada concentração em nitratos, que chega a atingir os 120 mg/L no ponto 63 (um poço localizado numa zona urbano-agrícola de Fermentelos), ou 243 mg/L no ponto 280 (ribeira que desagua na zona SW da lagoa), diminui para concentrações da ordem dos 20 mg/L na lagoa. A diminuição drástica da concentração em nitrato de alguns dos afluentes da lagoa, como o

aquífero Cretácico de Aveiro freático e algumas linhas de água, para a lagoa, parece indicar, para além da diluição proporcionada pelo rio Cértima e água da chuva, a ocorrência de reacções redox que envolvem a desnitrificação e/ou a assimilação de nutrientes por parte da vegetação ripícola e aquática da Pateira de Fermentelos, que favorecem a acentuada diminuição da concentração em nitratos na lagoa, face a alguns dos seus afluentes.

As actividades antrópicas que conduzem a um aumento da concentração em nitrato e, consequentemente, a um aumento da condutividade eléctrica da água no aquífero freático, parecem não exercer influência significativa no pH das águas afectadas (pontos 63, 131, 153, 168 e 169), visto o valor deste parâmetro ser relativamente constante entre aquelas águas que parecem não sofrer impactos antrópicos (ponto 7, 56 e 197) e aquelas que, pela sua localização, concentração em nitrato e condutividade eléctrica, parecem sofrer impactos antrópicos.

As concentrações observadas nos distintos elementos maiores analisados podem ter origens distintas. Por exemplo, a amostra colhida numa linha de água que recebe o efluente de uma metalomecânica (ponto 275) apresentava, no momento da colheita, uma cor esbranquiçada, observando-se, ao longo da linha de água, um depósito fino branco. A sua elevada condutividade eléctrica e o seu elevado teor em sulfato leva a pensar que o tratamento aplicado para precipitar o excesso de metais, removendo-os assim da fracção dissolvida, envolve a adição de um sulfato, originando um efluente pobre em metais, como se verá mais adiante, e extremamente rico em sulfato (1560 mg/L) e sódio (585 mg/L), mas cumprindo o limite imposto pelo Dec. Lei 236/98 para a concentração em sulfato (2000 mg/L).

A elevada condutividade eléctrica, associada a uma elevadíssima concentração em sulfato e cálcio observada na amostra colhida num furo que capta, para além dos Grés grosseiros inferiores, os calcários jurássicos (ponto 268) indica, muito provavelmente, a presença de gesso nesta litologia. Este furo localiza-se numa zona urbano-agrícola, em Fermentelos, longe de qualquer actividade industrial e, a 50 m de um furo (ponto 154) cuja água tem características completamente diferentes, com uma condutividade eléctrica muito baixa e uma fácies hidroquímica distinta (bicarbonatada sódica).

A variação da composição hidroquímica das distintas massas de água analisadas pode ser resumida ao longo de uma linha de fluxo perpendicular a uma das margens da Pateira de Fermentelos (Figura 5.12), onde é possível observar como factores geológicos, bioquímicos e antrópicos imprimem assinaturas hidroquímicas muito distintas. O ponto de água 154, com uma água muito pouco mineralizada onde predomina o anião bicarbonato, capta os Grés micáceos e os Grés grosseiros inferiores, do aquífero Cretácico de Aveiro semi-confinado. Cerca de 50 m ao lado, o ponto 268 exhibe uma assinatura hidroquímica completamente diferente, com uma água muito mineralizada e predominando o anião sulfato. Esta composição hidroquímica tão distinta daquela observada no ponto 154, deve-se, muito provavelmente, ao facto de na captação do

ponto 268 os últimos ralos captarem as formações jurássicas, cuja composição mineralógica pode incluir sulfatos como o gesso (Rocha, 1993).

Nas amostras de água do aquífero freático (pontos 63, 153 e 168), apresentadas na linha de fluxo (Figura 5.12), é notória a presença do anião nitrato cuja origem é, muito provavelmente, antrópica: quer através da aplicação de fertilizantes azotados nos terrenos agrícolas aí instalados; quer através de fugas de águas residuais domésticas e pecuárias.

Na Pateira de Fermentelos observa-se uma diminuição drástica da concentração em nitratos, com um aumento da concentração em bicarbonatos, que predomina na composição aniónica das águas da lagoa e do rio Cértima. Esta mudança drástica da composição química do aquífero freático para a água da lagoa deve-se em parte à significativa contribuição do rio Cértima que, nesta altura do ano hidrológico (Abril de 2006) apresentava baixa concentração em nitratos, favorecendo assim a diluição dos nitratos provenientes da transferência de água subterrânea rica em nitratos e, por outra parte, deve-se à assimilação de nitratos pela vegetação ripícola e aquática da lagoa e/ou à desnitrificação que pode ocorrer em zonas de ambiente redutor no leito da lagoa.

O aumento da concentração em bicarbonatos, do aquífero freático para a lagoa deve-se, provavelmente, ao facto de o rio Cértima apresentar elevada concentração em bicarbonatos, reflexo das litologias que afloram na sua bacia hidrográfica.

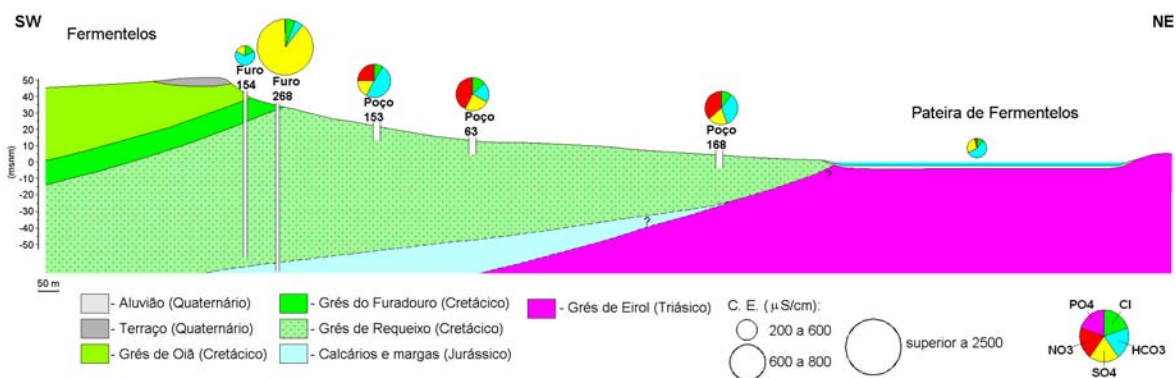


Figura 5.12 – Distribuição dos aniões maioritários ao longo de uma linha de fluxo, nas três massas de água amostradas: água superficial, aquífero freático e aquífero semi-confinado.

## 5.4.2. Estatística aplicada aos resultados da campanha de Abril de 2006

### 5.4.2.1 Estatística univariada

A estatística univariada permite resumir as principais características das três massas de água amostradas (Anexos C.15 a C.17): águas superficiais; aquífero freático e aquífero semi-confinado, possibilitando a identificação das características típicas de cada meio, bem como aquelas que os distinguem dos demais.

O ião cloreto assume valores médios de 29.3 e de 25.8 mg/L nas águas superficiais e freáticas, respectivamente, enquanto no aquífero profundo observam-se valores médios de 41.2 mg/L, o que parece indicar a influência dos distintos tempos de residência em cada massa de água e das litologias presentes nas três massas. Como foi referido anteriormente, o tempo de residência da água passa de alguns minutos, nos rios, passando por alguns dias, na lagoa, até 7000 anos (Condesso de Melo, 2002) no aquífero profundo. Enquanto nas águas superficiais, a concentração mínima em cloreto (encontrada no rio Águeda) é de 9.3 mg/L, no aquífero freático passa a ser de 17.9 mg/L e no aquífero semi-confinado é de 24 mg/L. Neste último observa-se uma maior variabilidade da concentração em cloreto, enquanto o aquífero freático apresenta a menor gama de concentração em cloreto.

A concentração média em bicarbonato aumenta do aquífero freático para as águas superficiais, o que confirma a maior influência de minerais carbonatados nas águas superficiais que, para além de apresentarem a maior concentração média em bicarbonato, apresentam a menor gama de valores para esta variável, revelando a sobreposição da assinatura geoquímica dos minerais carbonatados face àquela imposta pelos minerais silicatados.

A concentração em nitrato varia entre um valor inferior ao limite de detecção (0.04 mg/L) que ocorre nas águas subterrâneas e que ocorreu, nalgumas das amostras águas de superficiais analisadas mensalmente (de Junho a Agosto de 2006) e um valor máximo de 120 mg/L, observado no aquífero freático, em Fermentelos. Esta disparidade de concentrações em nitrato, bem como a ocorrência dos valores mais elevados em terrenos agrícolas assentes sobre o aquífero freático, parece reflectir por um lado a contribuição da agricultura para a nítida contaminação em nitratos no aquífero freático, cujas condições biogeoquímicas parecem incapazes de induzir a desnitrificação e; por outro lado, a capacidade de desnitrificação das águas superficiais que recebem quantidades significativas de efluentes domésticos e agrícolas, bem como contribuição do aquífero freático contaminado.

O ião sulfato apresenta concentrações bastante díspares em todos os meios amostrados, variando, nas amostras da campanha de Abril de 2006, entre um mínimo de 3.3 mg/L na fonte da Seara (ponto 56) e um máximo 195 mg/L no furo que capta os calcários jurássicos (ponto 218). Se considerarmos ainda as quatro amostras colhidas fora desta campanha, encontramos uma concentração máxima em sulfato (de 2283 mg/L) num furo que capta também os calcários jurássicos e cuja concentração anómala merece ser mencionada nesta secção. Esta acentuada variabilidade na concentração em sulfato indica, por um lado a elevada solubilidade dos minerais sulfatados face a outros minerais presentes nas formações aquíferas e; por outro lado, o carácter localizado da ocorrência de minerais sulfatados.

Considerando os elementos maiores, a concentração em potássio é aquela que apresenta menor variabilidade nos três meios amostrados, reflectindo a proveniência limitada deste ião, bem como a sua eficaz remoção do meio hídrico por parte das plantas. Dos minerais que constituem as

formações aquíferas, aqueles que poderão aportar potássio à solução são a ilite, a moscovite e o feldspato potássico, sendo este último o silicato mais susceptível de ser dissolvido.

A concentração em sódio das águas superficiais e do aquífero freático é muito semelhante, enquanto no aquífero semi-confinado, a sua concentração média é mais do dobro que a das massas de água anteriores, atingindo um máximo de 113 mg/L associado a uma elevada concentração em cloreto no furo que capta os calcários jurássicos (218), provavelmente devido a um maior tempo de residência da água e devido ainda, à provável existência de águas marinhas congénitas (Condeso de Melo, 2002).

A concentração em cálcio é relativamente semelhante nas três massas de água amostradas, assumindo valores mais elevados nas águas superficiais e no aquífero semi-confinado. No entanto, a concentração máxima de cálcio é atingida no ponto 153 que, como foi dito anteriormente é um poço que parece sofrer influência de efluentes agrícolas que podem aportar este elemento. Assim, as concentrações mais elevadas deste ião em solução parecem dever-se a três fenómenos: dissolução de minerais carbonatados, dissolução de gesso e efluentes agrícolas.

#### 5.4.2.2 Análise em componentes principais (ACP)

A análise em componentes principais (ACP) é um método factorial de análise de dados que permite identificar relações entre os teores de variáveis (ou propriedades) nos diferentes indivíduos (ou amostras) e, a similitude e oposição entre indivíduos (Garcia Pereira & Sousa, 1988-2001). O objectivo da ACP é projectar os indivíduos e as propriedades em planos, definidos por um pequeno número de eixos, minimizando a perda de informação. A partir da matriz dos dados iniciais, a ACP, calcula uma matriz de correlações, cuja diagonalização gera um determinado número de valores próprios e de vectores próprios. A partir da ACP determinaram-se as coordenadas das variáveis e das projecções dos indivíduos nos eixos factoriais (Garcia Pereira & Sousa, 1988-2001). A selecção da dimensão do sub-espço, fez-se de acordo com o seguinte critério: escolheram-se os primeiros eixos que explicam no mínimo 70% da inércia da nuvem, obtendo-se os três primeiros planos cujos eixos são E1/E2, E1/E3 e E1/E4. Ao projectar as variáveis nos três primeiros planos constatam-se os seguintes grupos (Figura 5.13 e Anexo B.5):

- O sulfato, bicarbonato, cálcio, magnésio, condutividade eléctrica e o pH, são explicados pelo eixo E1, bem como o Eh. No entanto, o eixo E2 separa as primeiras variáveis (que se projectam no lado negativo de E1) do Eh (que se projecta no lado positivo de E1). O grupo localizado nos valores negativos de E1 parece reflectir a influência das rochas carbonatadas, às quais muitas vezes se associa a presença de gesso, que aportam aqueles iões à água, tornando-a mais alcalina e mais mineralizada. Oposto a este grupo surge o Eh, parecendo reflectir que quanto menos oxidante for a água maior a probabilidade de se encontrarem aqueles iões em solução. O magnésio, bicarbonato e pH estão separados do sulfato, cálcio e condutividade eléctrica, pelo eixo E1, sugerindo que os dois primeiros estão mais relacionados com as rochas carbonatadas cujo

principal efeito é o aumento do pH, enquanto o sulfato e o cálcio estão mais relacionados com o gesso, cujo principal efeito é o aumento da mineralização das águas.

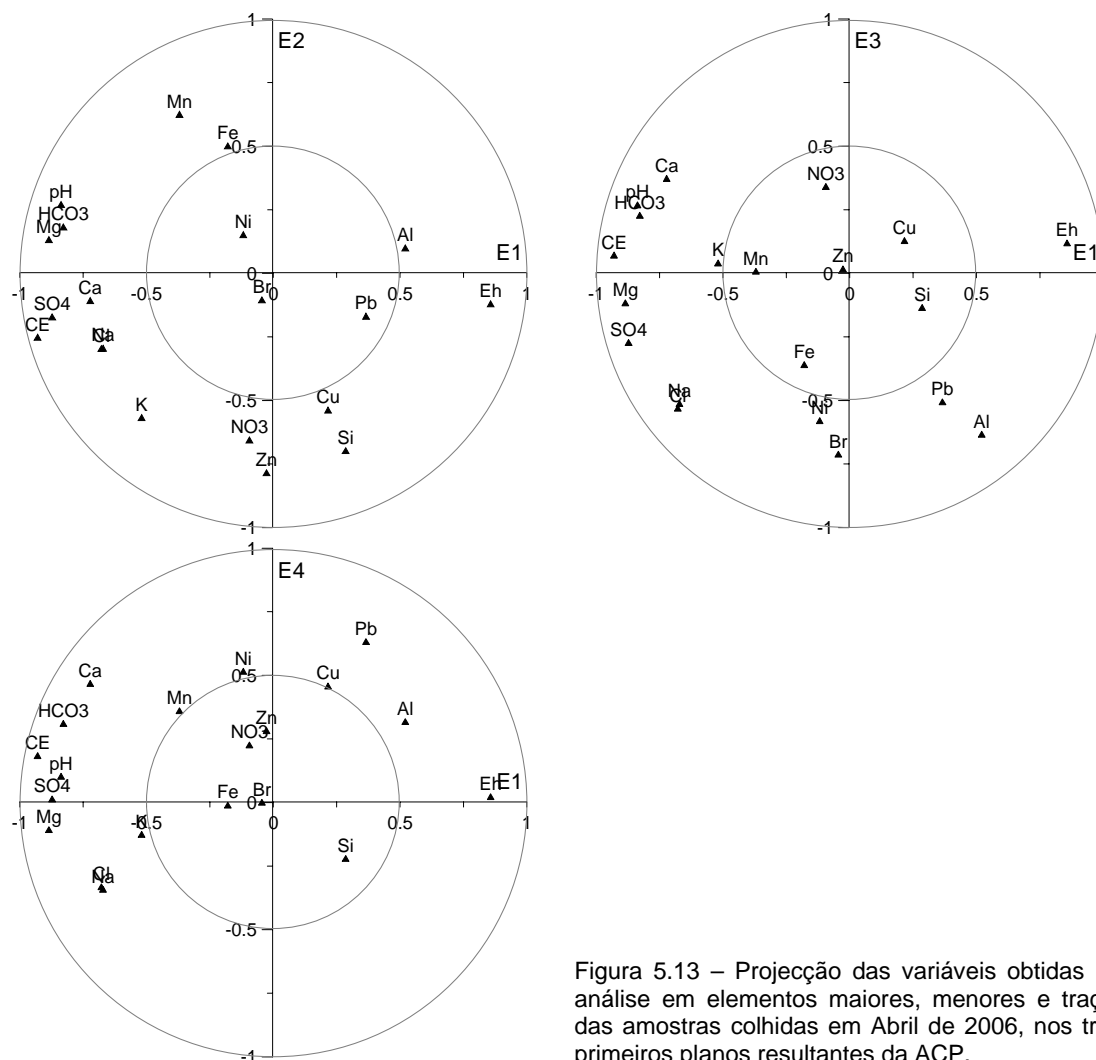


Figura 5.13 – Projecção das variáveis obtidas na análise em elementos maiores, menores e traço, das amostras colhidas em Abril de 2006, nos três primeiros planos resultantes da ACP.

▪ O cobre, nitrato, silício e zinco projectam-se no lado negativo de E2, enquanto o manganês e o ferro projectam-se no lado positivo deste eixo. Do primeiro conjunto, o cobre, o nitrato e o zinco podem dever-se à agricultura, como se viu anteriormente, enquanto o ferro e o manganês parecem dever-se fundamentalmente à interacção água-rocha, nomeadamente com oxihidróxidos de ferro e manganês e, também, devido a processos redox. A presença do silício em solução deve-se, em princípio à dissolução de minerais silicatados, no entanto, em águas tão recentes como a maioria das águas analisadas (superficiais e freáticas), em princípio, não existe tempo de residência suficiente para que esta dissolução possa influenciar a assinatura hidroquímica. Ao observar as amostras que ficam projectadas perto do silício neste plano, verifica-se que se trata essencialmente de amostras de poços agrícolas, o que leva a colocar as seguintes hipóteses: o eixo E2 explica vários fenómenos que aportam iões à solução; ou, os solos agrícolas

sendo fertilizados e explorados contêm mais matéria orgânica, que ao se decompor pode adicionar ácidos orgânicos e  $\text{CO}_2$  à solução, tornando-a mais ácida e, portanto, com maior capacidade para atacar os silicatos que libertam, entre outros iões, o silício.

- O sódio e o cloreto surgem nos três planos, muito bem correlacionados um com o outro, no entanto sempre localizados entre dois eixos, o que poderá dever-se a uma fonte única para presença destes dois iões em solução. Nos gráficos onde se projectam as variáveis e as amostras ( projecção das variáveis e das amostras nos planos resultantes da ACP no Anexo B.5) verifica-se que somente a amostra 6 se mantém próxima destes dois iões nos três gráficos. Esta amostra corresponde ao ponto 154, um furo de 100 m de profundidade, que capta os Grés grosseiros inferiores e os Grés micáceos. Segundo Condesso de Melo, 2002, a presença destes iões no sistema aquífero Cretácico de Aveiro pode dever-se à presença de água com influência marinha congénita das formações geológicas. O facto de este ser, dos pontos amostrados, aquele que capta águas mais antigas do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, poderá indicar que estamos perante a presença deste tipo de fenómeno.

#### **5.4.3. Variação temporal das características das águas monitorizadas ao longo de 2005/06**

O estudo da variação temporal dos parâmetros físico-químicos e da concentração em cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato, nitrito e amónio, foi feito a partir da amostragem mensal em dez pontos de água (Figura 5.2): um poço em Fermentelos (ponto 63); uma nascente em Requeixo (ponto 7); um furo de 180 m em Requeixo (ponto 67); um furo de 70 m na Zona Industrial de Oiã (ponto 127); um ponto no rio Cértima a montante da Pateira de Fermentelos (ponto 65); um ponto no rio Cértima a jusante da Pateira de Fermentelos (ponto 69); um ponto na margem de Fermentelos da lagoa (ponto 64); um ponto na margem de Óis da Ribeira da lagoa (ponto 80); um ponto na desembocadura da ribeira do Pano na Pateira de Fermentelos (ponto 70) e um ponto na zona norte da lagoa (ponto 94).

##### **5.4.3.1 Variação dos parâmetros físico-químicos**

A variação dos parâmetros físico-químicos como o pH, a temperatura, a condutividade eléctrica, o oxigénio dissolvido e o Eh, ao longo do ano hidrológico reflecte, indirectamente, as variações atmosféricas capazes de influenciar a qualidade da água subterrânea e principalmente a qualidade da água superficial, por esta estar permanentemente em contacto com a atmosfera. A variação dos parâmetros físico-químicos pode reflectir também, a sazonalidade da actividade biológica, a sazonalidade da altura da coluna de água nas massas de água superficial e, o impacto das diversas actividades antrópicas de carácter sazonal, como a agricultura, ou de carácter pontual como o lançamento de efluentes para as linhas de água (Anexo C.18).

Na zona de estudo e, como seria de esperar, a variação dos parâmetros físico-químicos é mais acentuada nas águas superficiais do que nas águas subterrâneas, reflectindo uma maior conexão



das primeiras com a atmosfera e respectivas oscilações climáticas (Tabela 5.3). Dos parâmetros físico-químicos monitorizados mensalmente, o pH é aquele com menor variação sazonal, reflectindo alguma independência face às oscilações climáticas ocorridas durante o ano estudado.

A temperatura das águas superficiais apresenta uma variação intimamente relacionada com a temperatura do ar – com um mínimo de 9 °C em Janeiro e um máximo de 31 °C em Julho. No entanto, na Figura 5.14, optou-se por projectar a variação da temperatura medida no ponto de água superficial número 70, por ser aquele, com menos interrupções na monitorização mensal deste parâmetro, sendo a sua amplitude térmica de cerca de 16 °C. Enquanto as águas subterrâneas, quer freáticas quer semi-confinadas, apresentam uma variação ligeira ao longo do ano estudado, observando-se a maior amplitude (de 6 °C) no poço de Fermentelos (ponto 63) e a menor (de 2 °C) no furo de 70 m de profundidade localizado na zona industrial de Oiã (ponto 127). O facto de a menor amplitude térmica não ser observada no furo mais profundo (ponto 67), com cerca de 180 m de profundidade, pode evidenciar algum defeito no isolamento da parte superior desta captação, hipótese que, como se verá adiante, parece ser corroborada por outras características da água captada neste ponto. Por apresentarem séries mais contínuas de medidas da temperatura ao longo do ano hidrológico 2005/06, optou-se por projectar em gráfico, as amostras dos pontos 70, 7 e 67, na comparação da evolução da temperatura nas três massas de água monitorizadas, com a evolução da temperatura atmosférica (Figura 5.14).

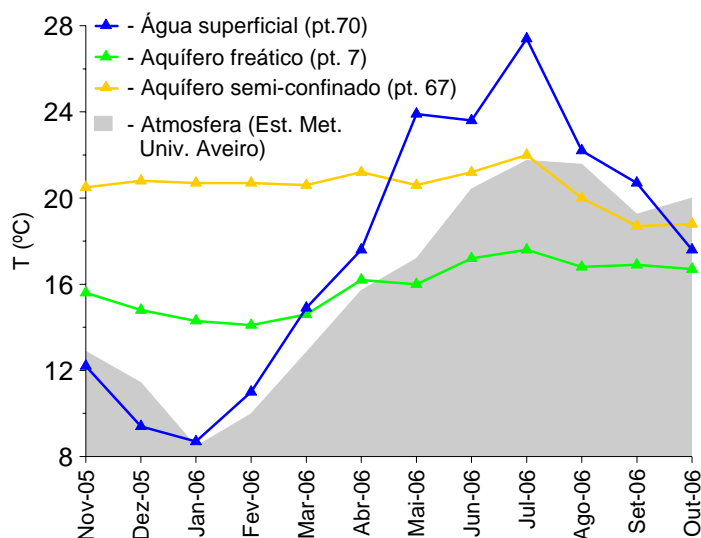


Figura 5.14 – Evolução da temperatura atmosférica e da temperatura das três massas de água monitorizadas (água superficial, aquífero freático e aquífero semi-confinado), ao longo de 2005/06.

A condutividade eléctrica apresenta uma variação bastante visível ao longo do ano, com maior intensidade nas águas superficiais, que apresentam um mínimo de 37  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na saída da lagoa (ponto 69) em Dezembro de 2005 e um máximo de 867  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no rio Cértima a montante da lagoa (ponto 65) em Junho de 2006. No entanto, os valores extremamente baixos de

condutividade eléctrica, atingidos em Dezembro de 2005, Junho, Julho e Agosto de 2006 no rio Cértima, na saída da lagoa (ponto 69) estão relacionados com a estagnação da água no canal de saída da Pateira de Fermentelos e, conseqüente mistura com a água do rio Águeda que, como se viu anteriormente, apresenta uma condutividade eléctrica muito baixa (Figura 5.15).

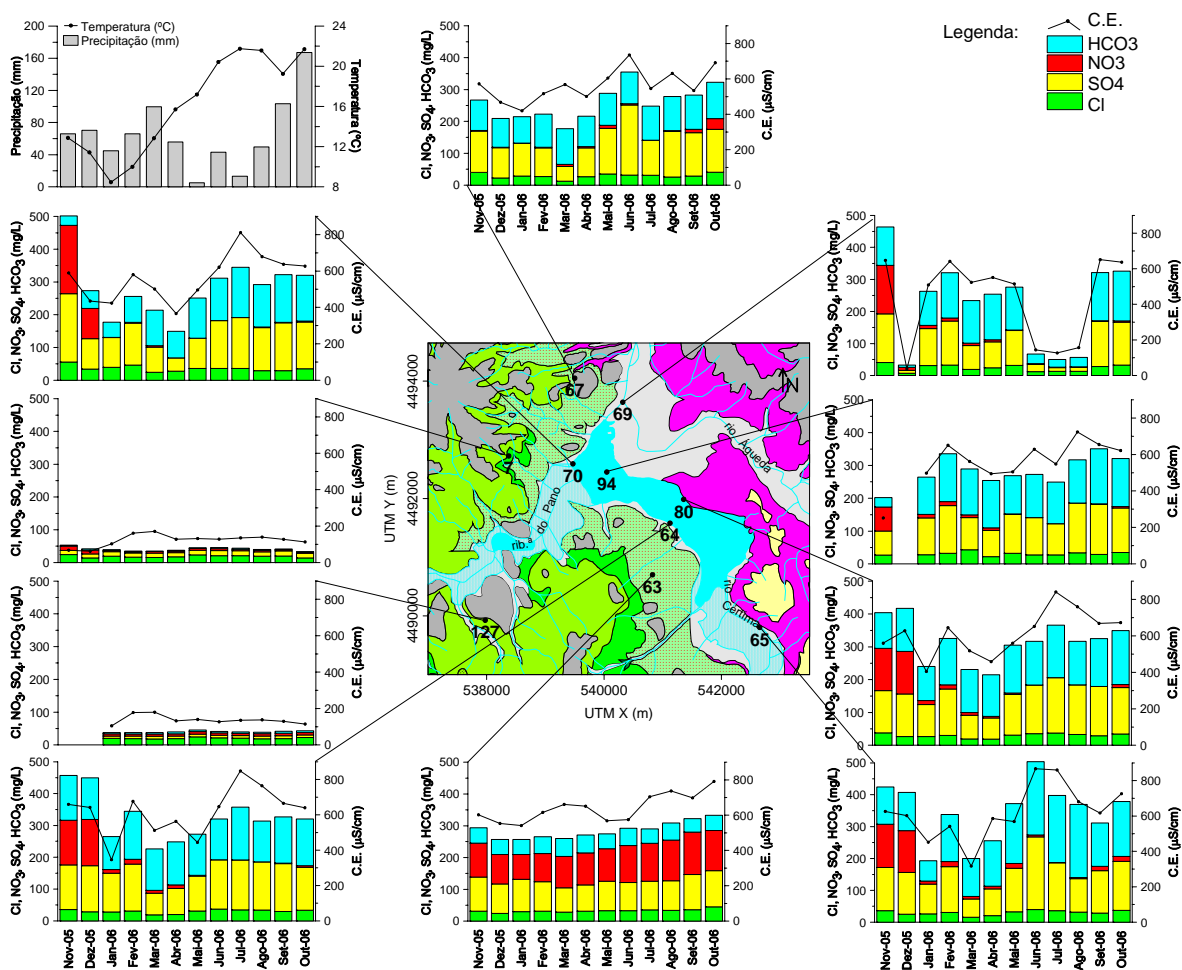


Figura 5.15 – Variação da concentração em cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato e da condutividade eléctrica, nos dez pontos de água monitorizados mensalmente, durante o ano 2005/06 (Legenda da geologia na Figura 5.3).

Na lagoa (pontos 64, 80 e 94), os valores de condutividade eléctrica mais elevados foram atingidos em pleno Verão, nos meses de Julho e Agosto, enquanto os valores mais baixos foram atingidos em Janeiro (Tabela 5.3 e Anexo C.18). O facto de se ter atingido, na lagoa, a condutividade eléctrica mínima no mês mais frio pode indicar que a capacidade de dissolução da lagoa é principalmente influenciada pela temperatura (Figura 5.15).

A variação da condutividade eléctrica no rio Cértima a montante da lagoa (ponto 65) parece estar intimamente relacionada com a pluviosidade, pois o valor mínimo foi atingido no mês mais

pluvioso (Março de 2006) e o valor máximo foi atingido no mês seguinte ao mais seco (Junho de 2006), o que parece indicar que a concentração de sais em solução no rio Cértima é mais influenciada pelo efeito de diluição provocado pelo aumento de caudal, como consequência de maior pluviosidade, do que pela temperatura, como parece acontecer na lagoa (Figura 5.15 e Tabela 5.3).

Nas águas subterrâneas analisadas parecem existir diversos mecanismos capazes de influenciar a condutividade eléctrica ao longo do ano estudado. As amostras menos mineralizadas – a fonte da Cilha (ponto 7) e o furo da Zona Industrial de Oiã (ponto 127) – exibem um aumento gradual da condutividade eléctrica desde o início do ano hidrológico até um máximo atingido em Fevereiro/Março de 2006, o que parece indicar um aumento da taxa de interacção água-rocha à medida que se progride na estação húmida, ocorrendo de Fevereiro para Março, uma certa estabilização da condutividade eléctrica, que poderá dever-se à aproximação do equilíbrio entre as fases minerais e a água recentemente infiltrada (Figura 5.15 e Tabela 5.3). De Março para Abril de 2006, observa-se, nestes dois pontos, uma descida entre 40 e 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que poderá dever-se ao efeito cumulativo do final da estação húmida, quando o efeito de diluição proporcionado pela acumulação da água recentemente infiltrada se sobrepõe ao efeito lixiviante dos primeiros episódios pluviosos. Desde Abril e até ao final do ano estudado, a condutividade nestes dois pontos parece estabilizar, com uma ligeira tendência descendente.

A variação da condutividade eléctrica no ponto 63 revela uma tendência ascendente ao longo do ano estudado, com algumas oscilações. A evolução da condutividade eléctrica no ponto 63 será interpretada com maior detalhe mais adiante, quando for apresentada a interpretação da evolução do teor em nitrato neste ponto de água, que parece relacionar-se com a condutividade eléctrica observada neste ponto de água (Figura 5.15 e Tabela 5.3).

No ponto 67, a variação da condutividade eléctrica, com um máximo em Junho de 2006 e um mínimo em Janeiro de 2006 e, com diversas oscilações ao longo do ano, parece reflectir a influência de diversos fenómenos, dos quais se destacam os seguintes: o aumento da taxa de reacções entre água, minerais e sais do solo e das rochas devido à circulação da água da chuva recentemente infiltrada, o efeito de diluição induzido pela acumulação da água da chuva infiltrada, e ainda o efeito inibidor da dissolução provocado pela descida da temperatura. Mais uma vez, a água deste furo parece indicar alguma conexão entre a zona superficial e a zona profunda do aquífero.

Ref. ponto água:		7	63	64	65	67	69	70	80	94	127
CE (µS/cm)	nº valores	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
	mínimo	62	541	346	317	420	37	366	405	252	105
	percentil 25	111	573	550	562	513	154	481	550	502	128
	Média	122	641	617	620	566	428	564	614	558	138
	mediana	128	634	644	610	557	520	585	637	562	134
	percentil 75	137	700	668	692	612	638	630	670	640	139
	máximo	171	791	848	867	735	651	811	841	724	180
	Desvio padrão	32.5	79.2	135.5	154.9	89.9	238.0	124.9	122.4	126.0	24.1
TDS (mg/L)	nº valores	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
	mínimo	44	379	242	120	294	26	256	283	177	74
	percentil 25	77	402	385	393	359	108	336	385	352	89
	Média	86	449	432	426	396	300	395	430	385	97
	mediana	90	444	451	427	390	364	409	446	394	93
	percentil 75	96	490	467	485	427	447	441	469	448	98
	máximo	120	552	594	607	514	456	567	589	506	126
	Desvio padrão	22.7	55.2	95.0	128.7	62.9	166.5	87.4	85.8	93.3	16.8
pH	nº valores	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
	mínimo	4.8	6.0	7.2	6.8	7.3	6.4	6.1	7.0	6.3	4.9
	percentil 25	4.8	6.1	7.3	7.1	7.6	6.8	6.6	7.4	7.4	5.0
	Média	4.8	6.2	7.6	7.2	7.7	7.0	6.9	7.6	7.5	5.1
	mediana	4.8	6.2	7.6	7.2	7.7	7.0	6.9	7.7	7.6	5.1
	percentil 75	4.9	6.3	7.8	7.3	7.8	7.1	7.4	7.8	7.8	5.1
	máximo	5.1	6.5	8.2	7.4	8.0	7.5	7.6	8.2	8.2	5.1
	Desvio padrão	0.09	0.16	0.29	0.15	0.21	0.31	0.47	0.38	0.50	0.05
T (°C)	nº valores	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
	mínimo	14.1	12.7	10.1	10.0	18.7	8.7	8.7	9.6	9.1	18.0
	percentil 25	14.8	14.7	12.9	13.1	20.4	12.2	11.9	12.7	13.5	18.2
	Média	15.9	16.0	19.2	17.6	20.5	18.2	17.4	19.4	18.6	18.7
	mediana	16.1	15.8	19.3	18.2	20.7	19.3	17.6	20.8	19.5	18.4
	percentil 75	16.8	17.7	24.6	22.4	20.9	23.5	22.6	25.2	23.8	19.0
	máximo	17.6	18.5	30.5	25.1	22.0	28.1	27.4	30.2	26.4	20.4
	Desvio padrão	1.2	1.9	7.3	5.4	0.9	6.6	6.2	7.2	6.1	0.8
Eh (mV)	nº valores	11	11	11	10	10	10	10	10	9	9
	mínimo	316	306	206	227	142	163	144	205	145	353
	percentil 25	355	329	299	303	316	293	277	281	270	372
	Média	422	417	380	342	376	334	316	352	320	447
	mediana	388	450	405	343	416	361	335	379	323	385
	percentil 75	474	473	468	383	446	386	370	429	409	526
	máximo	647	560	501	463	517	474	442	451	459	607
	Desvio padrão	98.1	89.7	100.7	67.2	109.2	94.7	94.0	93.8	107.7	94.9
OD (mg/L)	nº valores	11	11	11	11	11	11	10	11	9	9
	mínimo	1.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	percentil 25	1.8	3.3	3.4	2.4	0.0	2.0	0.2	2.6	2.5	4.6
	Média	2.5	3.9	5.5	3.2	0.2	3.9	1.5	5.1	3.2	4.5
	mediana	2.2	4.0	6.6	3.3	0.0	3.8	1.0	5.0	2.9	5.1
	percentil 75	3.0	4.5	7.6	3.9	0.5	5.4	2.8	7.0	4.6	5.4
	máximo	4.9	7.0	9.2	7.0	0.8	8.3	3.8	10.9	5.9	5.5
	Desvio padrão	1.1	1.7	3.0	1.9	0.3	2.6	1.5	3.6	1.9	1.7

Tabela 5.3 – Estatística univariada aplicada aos parâmetros físico-químicos das dez amostras analisadas mensalmente.

O Eh varia, nas águas superficiais, varia entre 144 mV, observado no ponto 70 em Agosto de 2006 e 501 mV, observado no ponto 64 em Março de 2006 (Tabela 5.3). Os valores máximos e mínimos de Eh ocorridos nos distintos pontos de amostragem de água superficial ocorreram em meses diferentes de ponto para ponto, o que indica a influencia de vários factores, para além do clima, sobre o potencial redox das águas superficiais. Destes factores pode considerar-se que a altura da coluna de água, o tipo e densidade de vegetação aquática presente no momento da colheita, também podem influenciar o valor de Eh, pois como se referiu anteriormente, os jacintos-de-água podem influenciar a concentração em oxigénio dissolvido na água e consequentemente o valor de Eh.

Em Abril de 2006 foi medido o Eh nos sedimentos do fundo da lagoa e do rio Cértima, tendo-se verificado que estes podem apresentar potenciais redox mais baixos que aquele observado na água. No ponto 65, a água do rio Cértima apresentava um potencial redox de 153 mV, enquanto o sedimento subjacente apresentava um potencial redox de 108 mV. A cerca de 20 m a sul do local 64, a água da lagoa apresentava um potencial redox de 179 mV, enquanto o sedimento subjacente apresentava um potencial redox de 120 mV. No entanto na zona do Bico, onde existem muitos nenúfares e o sedimento extremamente fino e lodoso apresenta uma cor negra, onde seria de esperar um potencial redox mais baixo, água e sedimento apresentavam um potencial redox de 152 e 153 mV, respectivamente. Esta similitude entre os potenciais redox de ambos os meios neste local, poderá dever-se à existência de uma coluna da água muito baixa, de cerca de 60 cm, no momento de medição, que favorece as trocas gasosas entre o fundo da Pateira de Fermentelos e a atmosfera, permitindo a reposição do oxigénio na água e nos sedimentos do fundo da lagoa.

Em Dezembro de 2006, durante uma campanha de campo realizada fora do âmbito deste trabalho na Pateira de Fermentelos, aquando da navegação por meio de vara e bateira na lagoa, ao cravar a vara no fundo da lagoa, na zona da confluência da ribeira do Pano com a lagoa, detectou-se a libertação de um gás que, a avaliar pelo cheiro poderia ser metano, indicando a ocorrência de um ambiente bastante redutor nos sedimentos do leito da lagoa, que em situações anóxicas extremas poderão ser capazes de desencadear as últimas reacções da cadeia redox que ocorre neste tipo de ambientes (Tabela 5.4).

Em Outubro de 2006, aproveitando a subida do nível da lagoa devido à precipitação ocorrida em Setembro/Outubro de 2006 que proporcionou uma maior coluna de água, foi feito um perfil da concentração em oxigénio dissolvido na zona central e mais profunda da lagoa, tendo-se constatado uma descida brusca da concentração em oxigénio dissolvido dos 1.6 para os 1.8 m de profundidade, passando de 4.89 para 1.45 mg/L, respectivamente. Desde a superfície da água até aos 1.6 m de profundidade a concentração em oxigénio dissolvido variou de 5.70 para 4.89 mg/L. A partir dos 2.0 m de profundidade e até ao sedimento do fundo da lagoa, a concentração em oxigénio dissolvido foi de 0 mg/L. Assim, quando a coluna de água é reduzida (inferior a 1 m) no momento da colheita, pode existir uma maior influencia do ambiente mais redutor e por vezes anóxico dos sedimentos do fundo, induzindo um potencial redox mais baixo na água da lagoa e,

quando a coluna de água é elevada (superior a 1 m), a água da zona mais superficial não sofre tanta influência do quimismo dos sedimentos, podendo apresentar potenciais redox mais elevados.

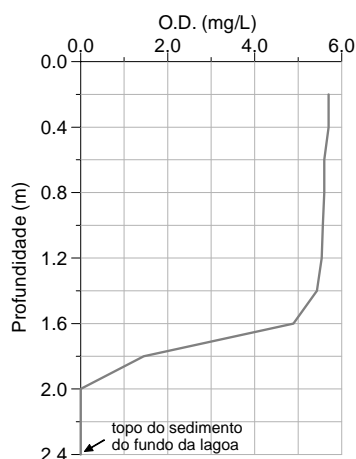


Figura 5.16 – Evolução do teor em oxigênio dissolvido na Pateira de Fermentelos com a profundidade, em Outubro de 2006.

Sabendo que a água da Pateira de Fermentelos apresenta espécies de azoto, manganês, ferro, enxofre e matéria orgânica em solução e que, pelas suas características físico-químicas, a lagoa e planícies de inundação podem atingir potenciais redox relativamente baixos, decidiu-se estimar o potencial redox das reacções apresentadas na Tabela 5.4, através do programa Phreeqci®, para gamas de temperatura que ocorreram ao longo do ano estudado e assim averiguar quais aquelas reacções que, em determinada altura do ano ocorrem preferencialmente.

Par redox		Reacção	Eh (mV), para pH 7, a 25°C
Espécie oxidada	Espécie reduzida		
O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \leftrightarrow 2H_2O$	812
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \leftrightarrow NO_2^- + H_2O$	747
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$NO_3^- + 10H^+ + 8e^- \leftrightarrow NH_4^+ + 3H_2O$	364
Mn <sup>4+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \leftrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	526
Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	$FeOOH + 3H^+ + e^- \leftrightarrow Fe^{2+} + 2H_2O$	-47
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S <sup>2-</sup>	$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- \leftrightarrow H_2S + 4H_2O$	-221
CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	$CO_2 + 8H^+ + 8e^- \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$	-244

Tabela 5.4 – Sequência das principais reacções redox que ocorrem nas zonas húmidas (a partir de Stumm & Morgan, 1981, Adriano, 2001 e Schlesinger, 1997).

Nos meses em que se observaram temperaturas mais baixas (de Novembro de 2005 a Fevereiro de 2006), com potenciais redox oscilando entre 331 e 485 mV que, a avaliar pelas reacções redox passíveis de ocorrerem sob estas condições de temperatura e Eh (Tabela 5.4), permitiram a

redução do oxigénio dissolvido na água da lagoa, bem como a redução de nitrato para nitrito, amónio e azoto gasoso e, a redução do manganês.

Nos meses mais quentes (de Maio a Agosto de 2006), os potenciais redox variaram entre 144 e 445 mV. Comparando estes valores com aqueles que constam na Tabela 5.4, pode considerar-se que, para além da redução dos primeiros receptores de electrões – oxigénio, azoto e manganês, poderá ter ocorrido a redução do ferro.

Como foi visto anteriormente, os sedimentos do fundo da lagoa, cujo potencial redox não foi monitorizado mensalmente devido à dificuldade na execução desta medição, podem apresentar potenciais redox inferiores aos da lagoa, permitindo a redução dos receptores de electrões que se seguem ao ferro, como o enxofre e o carbono, facto que parece ter sido detectado em Dezembro de 2006, como referido anteriormente.

#### **5.4.3.2 Variação da concentração em aniões maioritários ao longo do ano 2005/06**

A variação mensal dos aniões maioritários, cloreto, sulfato, nitrato e bicarbonato, num ambiente com incipiente impacto antrópico pode reflectir a sazonalidade da composição atmosférica e do ciclo de vida das plantas e microrganismos associados, para além da composição geoquímica das formações geológicas.

A zona de estudo sofre diversas pressões antrópicas decorrentes da intensa ocupação da bacia do Cértima, como foi visto anteriormente, que alteram o padrão sazonal da concentração destes aniões, no entanto é possível constatar um padrão sazonal em determinados constituintes (Figura 5.15 e Tabela 5.5).

O cloreto é, dos aniões analisados mensalmente, aquele que ocorre em menor proporção ao longo do ano estudado, excepto nas amostras menos mineralizadas – a fonte da Cilha (ponto 7) e o furo da Zona Industrial de Oiã (ponto 127), onde este é o anião dominante.

Nos pontos 64, 80, 63, 7, 67 e 127 a concentração em bicarbonato tem uma variação muito ténue ao longo do ano estudado. Os dois primeiros pontos dizem respeito a amostras colhidas na lagoa, onde o pH assume valores de cerca de 7.6, com uma dispersão muito reduzida ao longo do ano, reflectindo assim, a ténue variação em bicarbonato. Os quatro últimos pontos referem-se a amostras de água subterrânea captada/drenada nos Grés grosseiros inferiores (freático), nos Grés micáceos (freático), nos Grés grosseiros inferiores e grés triásicos (semi-confinado) e, nos Grés micáceos (semi-confinado), respectivamente (Figura 5.15). Destes quatro pontos de água subterrânea o poço particular localizado em Fermentelos (ponto 63) é aquele que, a avaliar pela sua concentração em nitratos, sofre maior influência de efluentes agrícolas e/ou domésticos/pecuários. Este facto pode estar relacionado com um dos seguintes factores: ou o foco de contaminação é pontual e os movimentos advectivos e dispersivos do fluxo subterrâneo não são suficientemente eficazes para dispersar e diluir a pluma de contaminação durante o ano analisado; ou, o foco de contaminação é difuso, com uma carga poluente relativamente estável.

Mas, há outro facto interessante neste poço: a condutividade eléctrica e respectiva concentração nos iões analisados, embora com alguma oscilação, mostra uma clara tendência ascendente ao longo do ano, que poderá reflectir a aproximação do núcleo da pluma contaminante. A oscilação verificada na condutividade eléctrica pode dever-se ao facto de este poço ser explorado e, portanto, para além de reflectir a evolução da pluma como consequência do fluxo natural onde predominam deslocações lentas e graduais, também reflecte as variações bruscas causadas pelo fluxo acelerado da bombagem.

A concentração em nitratos nos pontos 7 e 127, que representam aqueles locais mais afastados de impactos antrópicos é muito baixa, variando entre 2 e 13 mg/L no primeiro e, 6 e 8 mg/L no segundo. Se estes pontos de água estivessem isolados de qualquer impacto antrópico, a concentração em nitrato observada deveria ser inferior a 1 mg/L e não seria de esperar uma variação tão acentuada como aquela que se verifica nestes dois pontos, ao longo do ano hidrológico. Deste modo, apenas se pode considerar que as concentrações em nitratos observadas nestes dois pontos de água parecem indicar uma influência relativamente baixa de efluentes agrícolas e/ou domésticos/pecuários (Tabela 5.5).

O padrão de variação do ião nitrato observado nas águas superficiais e no ponto 7, com dois picos em Novembro e Dezembro de 2005, pode indicar que o período de seca anterior ao ano hidrológico 2005/06 potenciou a concentração de nitratos no solo que, com as primeiras chuvas de Setembro/Outubro de 2005 foram lixiviados, entrando em solução e sendo arrastados para a rede hidrográfica (Figura 5.15). De facto, apenas durante estes dois meses, a maioria das amostras de águas superficiais apresenta uma concentração em nitratos superior à concentração deste ião no ponto 63. Este fenómeno parece indicar a ocorrência de um processo de lixiviação bastante eficaz, das primeiras chuvas, após longos períodos secos, capaz de diminuir temporariamente a concentração em nitratos nas zonas mais contaminadas e, em contrapartida, aumentar visivelmente a concentração em nitratos nas massas de água superficial que drenam o aquífero contaminado. Há ainda outro aspecto interessante no padrão de distribuição das concentrações em nitrato no início do ano hidrológico: em Novembro de 2005, quando as amostras da lagoa colhidas nas margens de Fermentelos e Óis da Ribeira apresentavam concentrações em nitratos superiores à concentração observada no ponto 63, a amostra colhida na zona Norte central da lagoa (ponto 94) apresentava uma concentração, embora elevada, inferior à concentração observada no aquífero contaminado e na zona marginal da lagoa, que poderá reflectir algum dos seguintes aspectos: (1) a lagoa apresenta alguma capacidade de diluição e atenuação de contaminantes como o nitrato, à medida que as águas subterrâneas e superficiais contaminadas confluem na lagoa; (2) no momento da colheita, as águas contaminadas ainda não tinham atingido a zona central da lagoa, cujo fluxo pode ter sido dificultado pela presença de extensos mantos de jacintos-de-água nesta altura do ano; e ainda, (3) os jacintos-de-água, abundantes no momento da colheita, estavam a contribuir, na zona central da lagoa, para a atenuação da concentração em nitratos na lagoa.



Ref. ponto água:	7	63	64	65	67	69	70	80	94	127
<b>nº valores</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
<b>Mínimo</b>	14.1	24.0	18.8	15.9	12.7	7.3	24.3	18.8	21.8	18.2
<b>percentil 25</b>	16.1	30.8	28.4	25.9	26.7	13.4	29.1	26.8	27.5	19.2
<b>Média</b>	18.7	32.6	30.2	30.2	29.3	23.9	35.7	29.9	30.6	20.3
<b>Mediana</b>	19.2	31.9	31.0	31.5	28.7	26.5	35.3	30.5	28.7	19.7
<b>percentil 75</b>	20.7	34.3	34.1	36.4	32.6	31.9	37.0	34.6	33.0	21.2
<b>Máximo</b>	24.0	44.7	37.1	39.7	41.0	41.0	55.5	37.7	43.1	24.3
<b>desvio padrão</b>	3.3	5.0	5.8	7.2	7.7	10.6	8.5	6.3	5.6	1.9
<b>nº valores</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
<b>Mínimo</b>	12.0	76.5	68.4	57.2	46.0	9.2	40.6	64.5	73.1	7.0
<b>percentil 25</b>	13.0	89.4	118.8	102.0	93.8	20.3	92.0	117.4	96.6	7.9
<b>Média</b>	13.7	95.2	130.3	129.2	119.8	83.2	121.0	126.6	116.1	8.1
<b>Mediana</b>	13.6	92.8	142.7	134.1	119.5	94.6	129.7	135.4	113.5	8.1
<b>percentil 75</b>	14.4	103.0	150.8	144.9	137.8	134.8	145.9	149.0	140.6	8.3
<b>Máximo</b>	15.3	113.7	156.8	228.4	219.6	151.4	208.7	169.1	152.9	8.6
<b>desvio padrão</b>	1.1	11.2	29.3	42.9	42.4	56.0	44.5	32.4	27.9	0.4
<b>nº valores</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
<b>Mínimo</b>	1.8	42.7	103.6	63.4	82.9	7.3	28.7	104.2	28.7	4.1
<b>percentil 25</b>	2.6	47.4	128.9	119.8	95.6	29.9	72.8	130.0	121.6	4.3
<b>Média</b>	2.8	50.0	136.2	156.3	101.3	97.8	101.4	135.4	126.6	4.8
<b>Mediana</b>	2.8	47.9	133.2	145.1	102.4	126.5	115.4	132.9	131.7	4.7
<b>percentil 75</b>	3.0	54.3	145.5	193.1	107.4	141.3	131.8	145.8	145.1	5.0
<b>Máximo</b>	3.8	56.1	165.8	229.8	114.0	155.4	153.0	164.6	167.6	5.9
<b>desvio padrão</b>	0.5	4.5	15.4	50.9	9.1	57.1	42.2	17.9	35.8	0.6
<b>nº valores</b>	12	12	12	12	12	12	12	11	11	10
<b>Mínimo</b>	2.4	78.1	0.0	1.6	0.6	0.9	0.0	0.0	0.0	6.2
<b>percentil 25</b>	3.6	97.4	1.3	7.3	1.9	1.7	0.1	2.1	0.8	6.8
<b>Média</b>	5.6	107.6	28.4	30.3	6.5	17.3	26.2	28.1	11.0	7.1
<b>Mediana</b>	4.6	104.7	6.8	11.7	3.2	5.1	1.8	8.1	4.2	7.0
<b>percentil 75</b>	5.6	121.3	12.2	15.5	7.6	9.4	3.2	12.3	9.9	7.2
<b>Máximo</b>	13.1	132.9	145.0	135.5	33.6	151.4	208.7	129.6	73.1	8.0
<b>desvio padrão</b>	3.4	17.1	53.6	48.3	9.2	42.4	63.2	50.2	21.1	0.6
<b>nº valores</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
<b>Mínimo</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>percentil 25</b>	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Média</b>	<0.1	<0.1	0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1
<b>Mediana</b>	<0.1	<0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1
<b>percentil 75</b>	<0.1	<0.1	0.2	0.4	<0.1	0.1	<0.1	0.2	0.1	<0.1
<b>Máximo</b>	<0.1	0.1	0.2	1.2	<0.1	0.2	0.2	0.3	0.7	<0.1
<b>desvio padrão</b>			0.1	0.3		0.1	0.1	0.1	0.2	
<b>nº valores</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10
<b>mínimo</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>percentil 25</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>média</b>	<0.1	<0.1	0.1	0.4	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1
<b>mediana</b>	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
<b>percentil 75</b>	<0.1	<0.1	0.1	0.5	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1
<b>máximo</b>	0.2	<0.1	0.3	1.3	<0.1	0.3	0.3	0.3	0.8	<0.1
<b>desvio padrão</b>	0.1		0.1	0.4		0.1	0.1	0.1	0.2	

Tabela 5.5 – Estatística univariada aplicada aos resultados das análises mensais em cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato, nitrito e amónio dos dez pontos de água monitorizados.

O aumento progressivo da concentração em nitratos observado nas águas superficiais no final do ano estudado (mais evidente no ponto 65), parece indicar a ocorrência de um novo episódio de aplicação de fertilizantes azotados nos terrenos drenados, dos quais, parte do fertilizante que não foi assimilada pelas plantas, foi lixiviada e transportada em solução pela rede hidrográfica (Figura 5.15).

Nos terrenos agrícolas ocupados por culturas anuais, como é a maioria dos terrenos agrícolas envolventes à Pateira de Fermentelos, aplica-se, em princípio, 4/5 da quantidade de fertilizante aplicada anualmente, no início da Primavera e o restante 1/5 no final do Verão/ princípio do Outono (Crespo, 2006, Com. Oral). Deste modo, o aumento de nitratos observado nas últimas campanhas de análise química, pode estar relacionado com a aplicação de fertilizantes no final do Verão, associado às precipitações intensas que ocorreram nos meses de Agosto a Outubro de 2006 e que, provavelmente, promoveram a lixiviação dos compostos químicos presentes nos fertilizantes aplicados.

Existe ainda outro mecanismo capaz de induzir o aumento da concentração em nitratos nas águas superficiais analisadas: na zona de Perrães e Oliveira do Bairro, a lezíria do rio Cértima está ocupada por arrozais que são drenados em Setembro/Outubro para se proceder à colheita do arroz. Durante o período imerso, pode instalar-se nos arrozais um ambiente redutor, que favorece a desnitrificação dos nitratos excedentários dos fertilizantes aplicados mitigando assim a contaminação das águas por nitratos, no entanto, quando os terrenos são drenados, os sedimentos dos arrozais ficam emersos e geram-se condições oxidantes capazes de oxidar os nitratos que outrora tinham sofrido redução e, portanto, permitindo a entrada destes aniões em solução.

O aumento progressivo da concentração em nitratos no final do ano hidrológico estudado também se verifica no ponto 67 que corresponde a um furo de 180 m de profundidade, localizado no meio de um terreno agrícola e pecuário, evidenciando alguma conexão hidráulica entre a zona profunda e a zona superficial, devida (1) a um deficiente isolamento da parte superior da captação, (2) às características naturais de conexão hidráulica entre a parte freática e a parte semi-confinada do próprio aquífero, ou (3) à existência de ralos na parte superior da captação (Figura 5.15).

No ponto 7, a seguir aos dois picos de nitratos observados em Novembro/Dezembro de 2005, a concentração diminui gradualmente até ao final do ano analisado, sem qualquer indício de um novo aumento da concentração no final do ano, indicando que, provavelmente, a presença deste ião em solução se deve a um volume de fertilizante azotado aplicado, antes ou no início do ano em estudo, nos terrenos de eucaliptos e pinheiros localizados a montante deste ponto de água e, durante o ano em estudo não ocorreu nova aplicação desse fertilizante possibilitando, assim, a progressiva diminuição da concentração em nitratos.

Se o ciclo de vida dos jacintos-de-água afectasse eficazmente a concentração em nitratos na lagoa, seria de esperar uma diminuição da concentração em nitratos nos meses com temperaturas

mais elevadas, quando ocorre maior desenvolvimento destas plantas que, na área de estudo decorre de Maio a Novembro/Dezembro, se não houver muita geada nestes dois últimos meses, como foi o caso do ano hidrológico estudado. E, durante os meses de Janeiro a Abril, com a queda de geada, os jacintos-de-água morrem, originando um extenso manto de tecido vegetal em decomposição que, em princípio, devolveria ao meio hídrico os nutrientes e metais assimilados enquanto vivos. No entanto, tal não se verificou este ano e, poderá estar relacionado com a simultaneidade de cheias na lagoa durante os meses frios, que arrastou o manto de jacintos-de-água em decomposição para jusante, até ao rio Vouga e Ria de Aveiro.

A concentração em sulfatos é aquela que revela um padrão sazonal mais nítido (Figura 5.15), com uma diminuição progressiva até ao mínimo atingido em Março/Abril, altura em que os níveis de água subterrânea e superficial atingiram o seu máximo e, um aumento progressivo até Junho/Julho, quando os níveis de água se encontravam muito baixos. As excepções em relação a este padrão são os pontos: 7, 69, 63 e 127. O ponto 69 apresenta uma concentração extremamente baixa nos elementos analisados nos meses de Dezembro, Junho, Julho e Agosto, que revela a entrada do rio Águeda na desembocadura da lagoa e, sendo este rio muito pouco mineralizado (como foi visto anteriormente), a consequência desta mistura de águas é a diluição da água mais mineralizada da lagoa.

Os pontos 7, 63 e 127 correspondem aos três pontos de água subterrânea amostrados mensalmente que não captam os grés triásicos nem os calcários jurássicos, que são as litologias da bacia do rio Cértima que podem aportar sulfatos ao meio hídrico. Os pontos 7 e 127 têm uma concentração muito baixa em sulfatos (variando entre 12 e 15 mg/L no ponto 7 e, entre 7 e 9 mg/L no ponto 127, como consta na Tabela 5.5), que poderá representar o *background* da concentração em sulfatos do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na parte oriental, onde se comporta como livre a semi-confinado. Enquanto o ponto 63, com uma concentração visivelmente mais elevada parece indicar, mais uma vez, a influência de efluentes agrícolas que aportam uma quantidade de sulfatos relativamente constante ao longo do ano estudado, apenas com uma ligeira descida em Dezembro de 2005 e em Março de 2006.

O ponto 67 corresponde a um furo que capta os grés triásicos que contêm, entre outros minerais, gesso (Rocha, 1993) e, ao evidenciar uma variação tão semelhante àquela observada nas águas superficiais parece indicar um fraco isolamento do furo que, consequentemente ficará afecto às oscilações da taxa de infiltração decorrente da precipitação e consequente lixiviação dos elementos adsorvidos na zona sobrejacente, saturada e não saturada.

A concentração em sulfatos observada nas águas superficiais reflecte a presença dos calcários jurássicos e dos grés triásicos na bacia do Cértima que, por conterem gesso e outros sulfatos, aportam o ião sulfato à rede hidrográfica. Esta variação sazonal parece reflectir o jogo entre um aumento da concentração quando ocorre precipitação antecedida de períodos secos, potenciando mecanismos de desorção que se sobrepõem ao efeito de diluição destas primeiras chuvas e, uma

diminuição gradual da concentração em sulfatos devido ao efeito da precipitação acumulada na bacia durante o período húmido.

#### 5.4.3.3 Variação do azoto inorgânico dissolvido ao longo do ano 2005/06

Existem três espécies de iões azotados que se podem encontrar dissolvidos na água: o  $\text{NO}_3^-$  (nitrato), espécie em que o azoto apresenta o estado de oxidação mais elevado (+5); o  $\text{NO}_2^-$  (nitrito), em que o estado de oxidação do azoto é +3 e o  $\text{NH}_4^+$  (amónio), em que o estado de oxidação do azoto é -3. A variação destas espécies e sua proporção ao longo do ano pode aportar informação acerca dos mecanismos de nitrificação e desnitrificação que estão a ocorrer, bem como sobre a proximidade de focos de contaminação por efluentes domésticos e pecuários no meio hídrico. Uma das origens possíveis para a presença de azoto inorgânico dissolvido no meio hídrico pode ser a ureia, que é um composto orgânico azotado, presente nas águas residuais domésticas e pecuárias, e que em meio oxidante pode passar gradualmente a amónio, nitrito e nitrato, desde que permaneçam condições suficientemente oxidantes para que o azoto seja progressivamente oxidado. Os fertilizantes azotados, que podem conter entre outros compostos nitrato de amónio e sulfato de amónio, também podem contribuir para a presença de azoto inorgânico dissolvido nas águas.

Estas espécies azotadas podem passar de umas para as outras conforme as condições redox do meio, sem que a concentração em azoto inorgânico dissolvido se modifique significativamente. Ou seja, a única forma de um ecossistema libertar azoto será através da produção de  $\text{N}_2$  (azoto gasoso) ou  $\text{NH}_3$  (amoníaco).

Nas águas subterrâneas analisadas mensalmente, a espécie azotada dominante é nitidamente o nitrato (Anexo B.6), quer seja nas águas subterrâneas sob influência antrópica (63 e em muito menor escala os pontos 7 e 67); quer seja naquelas que parecem relativamente protegidas de episódios de contaminação (ponto 127). Nas águas subterrâneas, as duas espécies mais reduzidas encontram-se, ao longo do ano estudado, abaixo do limite de detecção que, no caso do ponto 63, onde parece existir uma pluma de contaminação que origina a elevada concentração em nitratos, pode indicar uma das seguintes hipóteses (ou ambas): ou a pluma se deve a efluentes domésticos e pecuários, mas o foco de contaminação está suficientemente afastado para que o composto orgânico azotado presente nestes efluentes (como a ureia) se degrade rapidamente em amónio que é oxidado até nitrato; ou, o efluente principal provém de fertilizantes sintéticos usados na agricultura, sendo a fonte de contaminação essencialmente rica em nitratos ou amónio, podendo este último sofrer rapidamente oxidação.

Nas águas superficiais já se observa uma variação na proporção destas três espécies azotadas (Anexo B.6). De Novembro de 2005 até Janeiro de 2006 observa-se um decréscimo acentuado da concentração em nitratos e, de Janeiro até Maio de 2006 observa-se um decréscimo acentuado da concentração em nitratos. De Maio até ao final do ano estudado há um novo, mas ligeiro, aumento da concentração em nitratos na entrada da lagoa, enquanto os restantes pontos de água

superficial exibem uma estabilização da concentração em nitratos. Desde Janeiro e até ao final do ano hidrológico observa-se um decréscimo progressivo da concentração em azoto inorgânico dissolvido, mas com algumas oscilações da concentração em nitritos e amónio, que se intensificam durante o Verão (Figura 5.17). Estas oscilações da concentração em amónio e nitrito, mais frequentes no Verão, poderão dever-se a episódios de contaminação pontual, como seja o lançamento de efluentes domésticos e/ou pecuários que, durante o Verão, devido à escassez de chuva e consequente concentração de contaminantes, se tornam mais evidentes. Estas ocorrências poderão ser confirmadas através da análise em componentes orgânicos, como *Escherichia coli* ou coliformes fecais, que não foram realizadas no âmbito deste estudo, mas que são detectados com frequência nas análises de água das principais fontes existentes na zona de estudo, realizadas pelas Câmaras Municipais de Oliveira do Bairro, Aveiro e Águeda.

O decréscimo acentuado em azoto inorgânico dissolvido (nitrato, nitrito e amónio) ocorrido ao longo do ano estudado nas águas superficiais (acompanhado pela diminuição da concentração em nitratos), pode ser devido ao efeito concentrador da seca que antecedeu o ano hidrológico estudado, aliado a uma propensão dos agricultores para aplicar mais fertilizantes nesses períodos secos, em virtude do fraco desenvolvimento agrícola. Apenas na entrada e na zona Norte da lagoa se observa uma tendência ascendente da concentração em amónio e nitrito e, nas margens de Fermentelos e de Óis da Ribeira observa-se uma tendência ascendente da concentração em amónio.

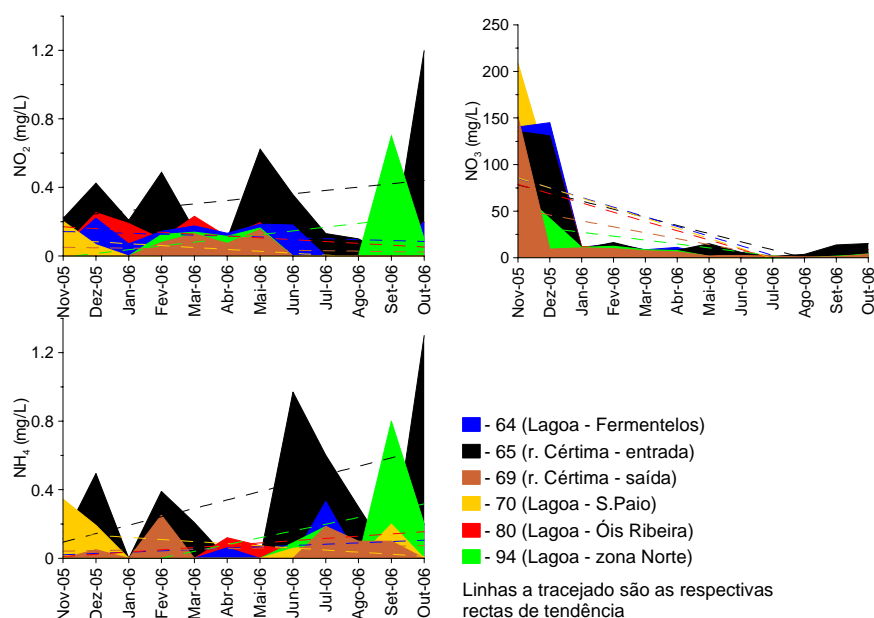


Figura 5.17 – Variação mensal da concentração em nitrato, nitrito e amónio nas águas superficiais.

#### 5.4.4. Comparação da qualidade da água com os Decretos-Lei 236/98 e 243/01

O Decreto-Lei 236/98 estabelece as normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seguintes usos: (1) águas superficiais e subterrâneas para consumo humano; (2) águas de abastecimento para consumo humano; (3) águas para suporte da vida aquícola; (4) águas para fins balneares e águas para rega. Com os avanços científico-tecnológicos entretanto decorridos e após transposição da directiva 98/83/CE, surgiu em 2001 o Decreto-Lei 243/01 que redefine os valores paramétricos de alguns parâmetros físico-químicos respeitantes à qualidade da água para consumo humano.

Atendendo à variedade de águas analisadas no presente estudo e considerando a utilidade que têm actualmente ou que potencialmente podem vir a ter decidiu-se comparar as distintas águas analisadas em Abril de 2006 com as respectivas normas. Assim, através da comparação dos valores de pH, temperatura, oxigénio dissolvido, azoto amoniacal, cloreto, sulfato, arsénio, cádmio, chumbo, crómio, cobre, níquel e zinco obtidos nas águas superficiais com os valores que representam os objectivos ambientais de qualidade mínima para águas superficiais, verificou-se que todas as amostras de água superficial respeitavam os limites impostos.

Sabendo que existe uma intensa actividade pesqueira na Pateira de Fermentelos optou-se por comparar os valores dos parâmetros analisados com os limites impostos pelo Dec.-Lei 236/98 para fins piscícolas. Esta comparação permitiu verificar que os parâmetros: oxigénio dissolvido; amónio; nitrito; fosfato; zinco e cobre respeitam os limites impostos por lei. Reconhecendo a importância de um melhor conhecimento da qualidade da água para fins piscícolas e sabendo que neste estudo não foram analisados parâmetros importantes para este tipo de avaliação como a carência bioquímica de oxigénio (CBO), a concentração em cloro residual disponível total, compostos fenólicos e hidrocarbonetos, crê-se fundamental realizar uma análise direccionada para a avaliação da qualidade da água da Pateira de Fermentelos para fins piscícolas. Cerqueira *et al.* (2005), verificaram um decréscimo gradual da CBO nas águas superficiais analisadas ao longo da bacia do rio Cértima, apresentando a amostra colhida na ponte de Perrães um valor de CBO inferior a 2 mg/dm<sup>3</sup> e superior a 5 mg/dm<sup>3</sup>, consoante a época do ano hidrológico.

Os parâmetros analisados em Abril de 2006 (oxigénio dissolvido, pH, fosfato, amónio, zinco e cobre) abrangidos pelo anexo X, que define a qualidade das águas doces para fins piscícolas, também estão abaixo do limite imposto pelo Dec.-Lei 236/98, excepto o nitrito que se encontra acima do limite na lagoa, no rio Cértima e no rio Levira, e o amónio, que se encontra acima de 0.04 mg/L, no rio Levira e na lagoa, na margem de Óis da Ribeira (ponto 80).

Ao comparar os valores da concentração em amónio e nitrito nas águas superficiais monitorizadas ao longo de 2005/06 com os valores máximos recomendáveis e admissíveis para fins piscícolas, constata-se que durante a maior parte do ano, as concentrações em amónio e nitrito superam os respectivos valores máximos recomendados. Em Outubro de 2006, a amostra colhida no rio Cértima (ponto 65) superava o valor máximo admissível para a concentração em amónio para fins

piscícolas (Anexo C.19). Atendendo às actividades de pesca que se desenvolvem na Pateira de Fermentelos e devido ao facto de estes iões poderem estar relacionados com agentes genotóxicos (Heng, *et al.*, 1995, entre outros), as concentrações observadas ao longo do ano, em amónio e nitrito, podem representar perigo de saúde pública.

Actualmente a Pateira de Fermentelos não é objecto de desenvolvimento de actividades balneares regulares, tendo sido observado ao longo deste estudo apenas uma vez, a canoagem no espelho de água da lagoa. A qualidade das águas para fins balneares visa essencialmente a componente orgânica que não foi analisada no presente estudo. Os componentes inorgânicos mencionados no respectivo anexo não apresentam limites máximos admissíveis ou recomendados, apenas estão sujeitos a uma verificação do seu valor, pelas autoridades competentes, quando um inquérito local na zona balnear revele a sua presença ou que a qualidade da água se tenha deteriorado.

A Pateira de Fermentelos é explorada para fins agrícolas nas freguesias de Perrães, Fermentelos, Óis da Ribeira e Requeixo. Tendo em conta esta utilidade comparam-se os limites impostos para os parâmetros físico-químicos analisados que constam no anexo XVI do Dec.-Lei 236/98 com os valores obtidos em todas as amostras de água superficial realizadas, tendo-se concluído que os limites impostos são respeitados pelas águas superficiais analisadas, excepto no rio Levira onde a concentração em nitrato é superior ao dobro do valor máximo recomendado para este tipo de uso (com 107.4 mg/L). Todas as amostras de águas superficiais pertencem à classe C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, excepto a amostra do rio Águeda que pertence à classe C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, não representando, portanto, perigo de salinização nem de alcalinização do solo (Anexo B.7).

Das dezasseis amostras de água subterrânea analisadas em Abril de 2006, apenas onze são actualmente utilizadas ou têm potencial para consumo humano. Destas, cinco são fontes, das quais apenas duas não têm placa informando que a água está imprópria para consumo, que correspondem à fonte da Cilha (ponto 7) e à fonte de S. Domingues (ponto 197). Das onze amostras com potencial ou actual uso para consumo humano, apenas os pontos de água 67, 154 e 218, apresentam um valor de pH dentro do intervalo recomendado pelo Dec.-Lei 243/01. Todas as outras amostras são ligeiramente mais ácidas que o limite inferior, o que é muito comum em terrenos silicatados, como aqueles presentes na área de estudo (Anexo C.20).

A concentração em sódio, que é um parâmetro indicador da qualidade da água para consumo humano, ultrapassa os 200 mg/L recomendados pelo Dec.-Lei 243/01, na fonte do Casal (131) e na fonte de Água em Poças (134), cujas concentrações em nitrato e nitrito parecem indicar contaminação agrícola e/ou doméstica/pecuária.

A concentração em potássio é ultrapassada em sete pontos de água, dos quais quatro pertencem ao aquífero freático e três ao aquífero profundo, sendo a concentração nos quatro primeiros mais elevada que nos três últimos. Tendo em conta que o ponto de água 154 é um furo que capta formações pertencentes ao sistema aquífero Cretácico de Aveiro e que, parece não estar influenciado por algum tipo de contaminação, a concentração em potássio encontrada pode dever-

se a processos naturais, como a interacção entre a água e os minerais presentes no aquífero, que podem aportar este elemento à solução (como a moscovite, a ilite e o feldspato potássico).

A concentração em alumínio é ultrapassada no poço com drenos radiais pertencente ao município de Águeda (ponto 219) e na nascente de Cruzes (ponto 202). As autoridades municipais garantem a salubridade da água distribuída na rede de abastecimento, ao misturam a água captada no poço com drenos radiais com a água captada noutras captações onde a concentração em alumínio não ultrapassa o limite imposto por lei. O mesmo sucede com o cobre que também está presente em concentrações acima do limite imposto por lei no poço com drenos radiais.

Segundo relatórios técnicos dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da Câmara Municipal de Oliveira do Bairro, a grande maioria das fontes existentes na área estudada apresentam contaminação orgânica proveniente de efluentes domésticos e pecuários, com a presença de *Escherichia Coli* e coliformes fecais acima do limite imposto para água para consumo humano e, também, contaminação por nitratos, com concentrações que chegam a ser superiores ao dobro do limite de 50 mg/L, imposto pelo Decreto-Lei 243/01. Este tipo de contaminação observada nas fontes reflecte o acentuado impacto das actividades antrópicas no aquífero freático, evidenciando a elevada vulnerabilidade deste tipo de aquíferos face à contaminação pelas mais diversas actividades.

Ao comparar os limites impostos pelo Decreto-Lei 236/98 para águas residuais com os valores obtidos no ponto 275, constata-se que, dos elementos analisados no efluente da metalúrgica localizada em Fermentelos (275), todos estavam de acordo com os respectivos limites. Mesmo a elevada concentração em sulfatos deste efluente está abaixo do limite imposto por lei, como foi visto anteriormente. Este facto revela a diferença entre os objectivos ambientais para águas superficiais e águas subterrâneas.

Comparando as seis captações de água subterrânea que servem para fins agrícolas com o anexo XVI do Dec.-Lei 236/98, constata-se que os pontos de água 63, 153, 168 e 169 têm concentração em nitrato superior aos 50 mg/L estabelecidos pelo anexo, o que pode prejudicar a produção e qualidade das culturas sensíveis. Relativamente ao índice SAR, todas as amostras pertencem à classe C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, não representando perigo de alcalinização nem de salinização do solo.

#### **5.4.5. Composição em elementos menores e traço**

A água adquire a maioria dos seus solutos através da alteração dos minerais constituintes das rochas, ocorrendo a maioria destas reacções no solo, no entanto, esta a aquisição de solutos ocorre de forma preferencial, originando o fraccionamento de elementos nas distintas fases – aquosa, cristalina, amorfa e coloidal. Os catiões mais solúveis como o cálcio, magnésio, potássio, sódio, estrôncio e rubídio, são fraccionados durante a percolação pelo solo e no aquífero, que são mais facilmente incorporados na fase aquosa, enquanto os elementos menos solúveis, como o ferro, manganês, alumínio, silício e a maioria dos metais traço, são retidos na fracção sólida e



residual do solo, sob a forma de substâncias cristalinas, amorfas, argilas ou complexos orgânicos (Pfeifer *et al.*, 2000). Assim, a introdução destes elementos menos solúveis no meio aquoso, nos quais se inserem a maioria dos elementos menores e traço depende, entre outros factores, da existência de reacções suficientemente agressivas para que as fases sólidas os possam ceder à fase aquosa.

Consoante a fase em que se encontram os metais, estes são mais ou menos móveis e, portanto, mais ou menos disponíveis para assimilação pelos seres vivos. Quanto maior for a concentração de determinado metal nas fases com maior mobilidade maiores serão os riscos de contaminação e toxicidade. Na tabela seguinte apresentam-se as principais fases em que se podem distribuir os elementos traço e respectiva mobilidade/biodisponibilidade:

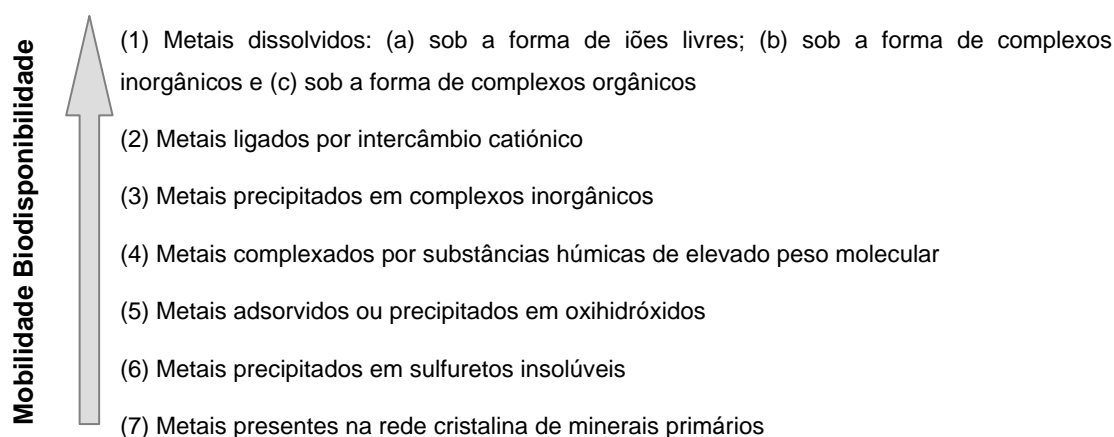


Tabela 5.6 – Principais fases em que se distribuem os metais (a partir de Gambrell, 1994).

Os metais dissolvidos são aqueles prontos para serem assimilados pelos seres vivos e que, enquanto não forem removidos da solução, se deslocam aproximadamente à velocidade da água. Os metais ligados por intercâmbio catiónico podem ser facilmente devolvidos à solução. No extremo oposto encontram-se os metais presentes na rede cristalina dos minerais, que podem ser considerados praticamente indisponíveis para a biosfera. Os metais precipitados em complexos inorgânicos; complexados por substâncias húmicas; adsorvidos ou precipitados em oxihidróxidos e em sulfuretos são considerados potencialmente móveis e biodisponíveis (Gambrell, 1994).

A mobilidade dos metais precipitados em complexos inorgânicos é controlada essencialmente pelo pH, enquanto os metais retidos nos oxihidróxidos de ferro, alumínio e manganês são mais sensíveis às variações de Eh. As reacções decorrentes das variações de pH e Eh são, na sua maioria, catalizadas por microrganismos existentes nos solos e sedimentos (Gambrell, 1994).

Para além do papel que as interacções hidrobiogeoquímicas desempenham na mobilização de elementos traço, também a ocorrência de concentrações favoráveis destes elementos nas rochas, representa um papel determinante na presença de elementos traço em solução.

Geralmente, as águas que circulam em bacias com fraca ou nula expressão de depósitos mineralizados, como é o caso da bacia do Cértima, contêm elementos menores e traço em baixas concentrações (da ordem de partes por bilião). No entanto, determinadas litologias presentes na bacia, como os xistos podem apresentar concentrações consideráveis de elementos traço como o arsénio, urânio, vanádio, rubídio e flúor; os arenitos podem ser ricos em zircão; e, as rochas carbonatadas podem conter urânio, estrôncio e flúor (Pfeifer *et al.*, 2000). De facto, através dos resultados das análises realizadas em Abril de 2006 verifica-se que estes elementos traço associados a xistos, arenitos e rochas carbonatas, presentes na bacia do rio Cértima, ocorrem nas águas analisadas. Pode destacar-se ainda as concentrações consideráveis de certos elementos traço como o estrôncio e o flúor no furo que capta os calcários jurássicos, indicando a presença destes elementos traço associada às rochas carbonatadas jurássicas.

A ocorrência de concentrações relativamente elevadas de elementos traço em bacias cujas rochas não contêm depósitos mineralizados pode estar associada a episódios de contaminação industrial, agrícola ou urbana que utilizam determinados elementos traço (Pfeifer *et al.*, 2000; Adriano, 2001, entre outros).

Na área estudada, por haver fraca expressão de depósitos mineralizados (conhecendo-se apenas a existência de explorações de manganês em rochas sedimentares na zona de Aguada de Cima), a ocorrência de concentrações significativas de elementos menores e traço pode estar associada a diversas actividades antrópicas, das quais se destaca, pela sua incidência na área de estudo e a utilização de substâncias ricas em alguns elementos traço, as indústrias cerâmica e metalúrgica, a agricultura e a movimentação rodoviária.

Dos sessenta e dois elementos menores e traço analisados, apenas o ouro, prata, bismuto, índio, ósmio, platina, telúrio e ruténio apresentam, em todas as amostras, concentrações abaixo dos respectivos limites de detecção. O ferro é o único elemento menor que atinge concentrações acima de 1 mg/L, que ocorre apenas na lagoa, no ponto 70, perto de S. Paio (Requeixo) e, o flúor é o único elemento traço cuja concentração atinge um valor entre 0.5 e 1 mg/L – no furo que capta os calcários jurássicos (ponto 218). O alumínio, boro, bário, bromo, iodo, manganês e estrôncio ocorrem, nalgumas amostras, em concentrações compreendidas entre 0.1 e 0.5 mg/L, enquanto os restantes elementos traço ocorrem, em todas as amostras, em concentrações inferiores a 0.1 mg/L (Anexos C.12 a C.14).

Os gráficos de dispersão entre determinados elementos traço, parâmetros físico-químicos e alguns elementos maiores permitem identificar relações entre estas variáveis, que possibilitam averiguar situações de contaminação ou a contribuição de determinadas litologias para as concentrações encontradas nas distintas águas analisadas (Figura 5.18).

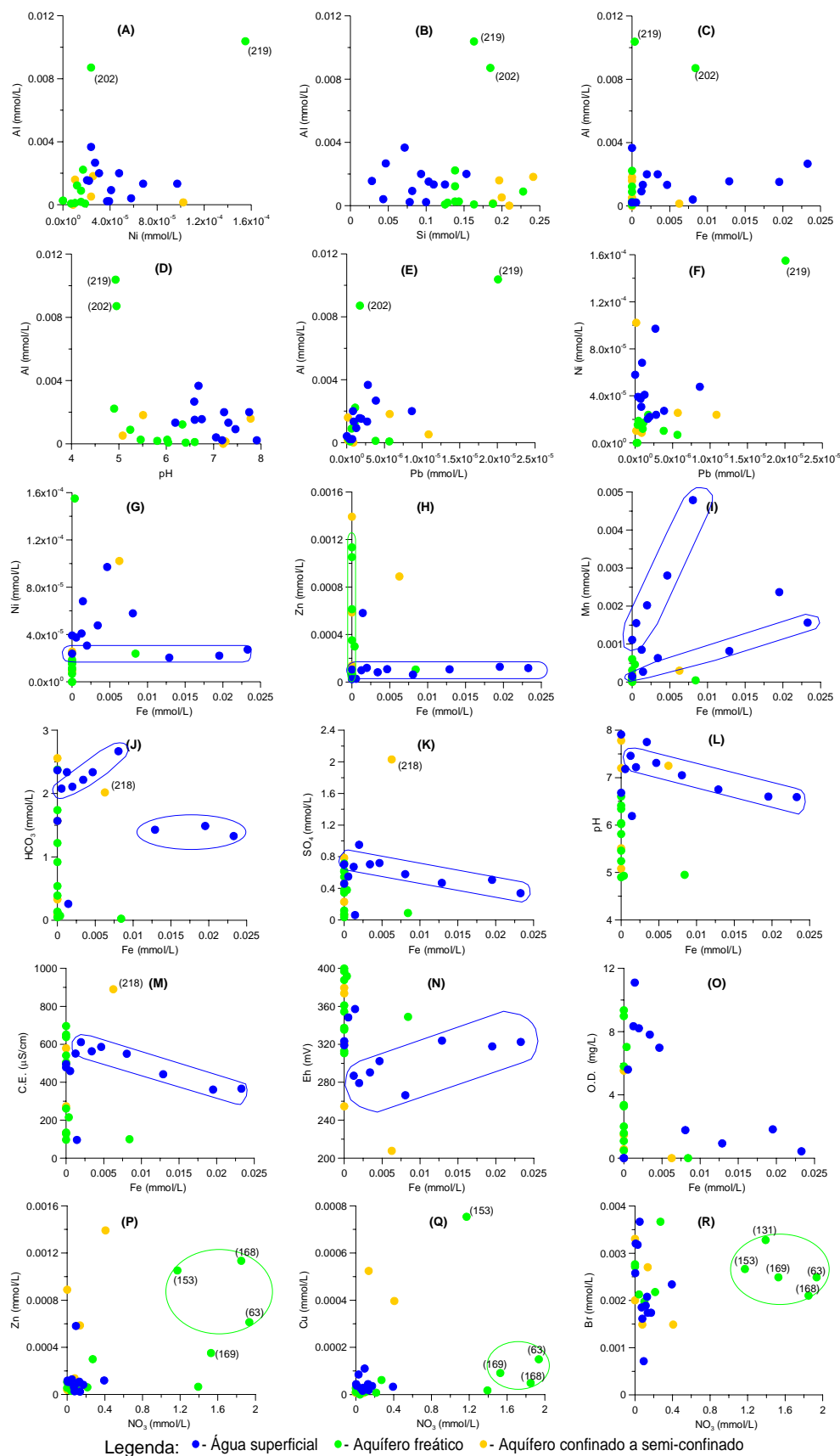


Figura 5.18 – Gráficos de dispersão entre alguns elementos menores, traço e maiores, pH, Eh e condutividade eléctrica.

Ao projectar a concentração do alumínio versus a do níquel (gráfico A da Figura 5.18), destaca-se de imediato o ponto 219, pelo elevado conteúdo em ambos os elementos. Este ponto corresponde a um poço de drenos radiais que abastece Fermentelos e é contíguo a uma linha de água, que drena uma área onde se localiza uma metalúrgica. As concentrações em alumínio e níquel observadas neste ponto de água apontam para uma provável contaminação por parte da actividade metalúrgica.

O baixo pH da amostra colhida no poço com drenos radiais (ponto 219), que em formações geológicas essencialmente siliciclásticas, como aquelas captadas por este poço, pode ocorrer naturalmente, conduziria à hipótese de a concentração em alumínio dever-se à dissolução de aluminossilicatos, como a moscovite e caulinite, que estão presentes nas formações geológicas captadas. No entanto, as concentrações relativamente elevadas de níquel e chumbo, associadas à concentração em alumínio observada no ponto 219 (gráficos A e E da Figura 5.18, respectivamente), aproxima-nos da hipótese de se tratar de contaminação associada à actividade metalúrgica. O facto de, no gráfico F da Figura 5.18, esta amostra se destacar das demais, corrobora a hipótese de uma fonte de contaminação isolada, para as concentrações observadas nesta amostra.

O ponto 202, uma nascente enquadrada num pinhal mas, com um depósito de electrodomésticos abandonados na zona imediatamente a montante, também tem uma concentração relativamente elevada em alumínio, no entanto a sua concentração em níquel e chumbo é semelhante àquela observada nos outros pontos de água (excepto o 219), indicando que, ou o níquel e o chumbo não fazem parte da constituição da fonte de contaminação e o alumínio sim; ou, o teor em alumínio observado deve-se a causas naturais, como seja a dissolução de silicatos ricos em alumínio, como a moscovite e a caulinite que estão presentes na litologia das formações geológicas drenadas pela nascente de Cruzes (ponto 202). Por apresentar um pH francamente ácido (de 4.9) (gráfico D da Figura 5.18), esta água pode favorecer a dissolução destes aluminossilicatos. No entanto, se a causa para a concentração em alumínio observada no ponto 202 fosse a segunda hipótese seria de esperar que outras amostras da área de estudo, que drenam formações siliciclásticas cretácicas e têm pH semelhante (pontos 7, 127, 197 e 219), apresentassem uma concentração em alumínio semelhante àquela observada no ponto 202, o que não acontece. Portanto, a hipótese de contaminação devida à oxidação de electrodomésticos para a concentração em alumínio observada no ponto 202 parece mais verosímil.

Das vinte e oito amostras analisadas apenas treze apresentam concentração em ferro acima do limite de detecção, o que reflecte a incapacidade da maioria das águas de manter este elemento em solução. Destas treze amostras, uma pertence ao aquífero semi-confinado (ponto 218), duas pertencem ao aquífero freático e as restantes dez são águas superficiais. Em princípio, o ferro deveria predominar nos meios menos oxidantes que são o aquífero semi-confinado e freático, no entanto, é nas águas superficiais que este elemento aparece em concentrações apreciáveis mais

frequentemente (gráficos N e O da Figura 5.18), reflectindo, provavelmente, o papel da mediação de microrganismos na solubilidade do ferro.

As águas superficiais apresentam uma vasta gama de teores em ferro, que não se correlaciona com a concentração em alumínio, indicando provavelmente que a presença de ambos os elementos em solução tem origens distintas (gráfico C da Figura 5.18). As águas do aquífero freático têm concentrações em ferro abaixo do limite de detecção, excepto os pontos 202 e 219, que parecem sofrer influência de distintos focos de contaminação.

Das águas do aquífero profundo, apenas aquela que capta calcários do jurássico (ponto 218) apresenta uma concentração em ferro acima do limite de detecção, podendo dever-se ao facto de estas formações geológicas conterem pirite como mineral acessório (Rocha, 1993). Esta hipótese parece ser corroborada pela posição que este ponto de água ocupa nos gráficos K, L e M da Figura 5.18, com elevada concentração em sulfato, relativamente elevada condutividade eléctrica e elevado pH, associados a relativa elevada concentração em ferro. A provável oxidação de pirite, pode aportar sulfato e ferro à solução, enquanto a dissolução das rochas carbonatadas captadas por este furo, que contêm pirite (Rocha, 1993), podem contribuir para o aumento da condutividade eléctrica e do pH da água. A existência de uma concentração considerável da fase oxidada sulfato (195 mg/L) e um valor de Eh relativamente oxidante de 208 mV na amostra colhida no ponto 218, pode indicar que existem condições suficientemente oxidantes, não obstante a profundidade elevada da captação e a baixa concentração em oxigénio dissolvido, para oxidar minerais de pirite que eventualmente existam nas formações aquíferas captadas, contribuindo assim, para as concentrações em ferro e sulfato observadas.

A relação entre a concentração em níquel e ferro, observada no gráfico G da Figura 5.18, parece indicar dois fenómenos: (1) algumas amostras de águas superficiais têm teores em níquel relativamente elevados, embora os teores em ferro não sejam significativos e (2) noutro grupo de águas superficiais há um aumento da concentração em ferro independente da variação da concentração em níquel (alinhadas horizontalmente no gráfico G da Figura 5.18), o que parece indicar origens distintas para estes dois elementos, bem como a influência de fenómenos naturais para a presença de ferro nas águas analisadas, como a alteração dos oxihidróxidos de ferro, presentes nos grés triásicos.

No gráfico I da Figura 5.18, observam-se duas tendências nas águas superficiais: uma em que o aumento da concentração em ferro conduz a um ligeiro aumento da concentração em manganês e outra em que um ligeiro aumento na concentração em ferro conduz a um elevado aumento da concentração em manganês. Existem no sopé das elevações triásicas olhos férreos, que poderão contribuir com distintas proporções de oxihidróxidos de ferro e manganês, originando distintos padrões de variação da concentração destes metais nas águas superficiais.

Como foi visto anteriormente, as formações triásicas imprimem um carácter bicarbonatado-sulfatado às águas superficiais que as drenam. Assim, o grupo de águas superficiais alinhado

obliquamente no gráfico J da Figura 5.18 parece corroborar a contribuição de ferro por parte destas formações, enquanto as amostras alinhadas horizontalmente no mesmo gráfico parecem indicar outra fonte para a presença de ferro, como os oxihidróxidos de ferro. As fontes que contribuem com sulfato para as águas superficiais parecem não ser as mesmas que contribuem para a presença de ferro (gráfico K da Figura 5.18), afastando assim a hipótese de serem os minerais de pirite a contribuir para a presença de ferro nestas águas.

O aumento da concentração em ferro acompanhado por uma ligeira descida do pH nas águas superficiais reflecte as condições de maior acidez que favorecem a dissolução de oxihidróxidos de ferro (gráfico L da Figura 5.18). Assim, o aumento da concentração em ferro nas águas superficiais, associado a uma diminuição da condutividade eléctrica e do pH, parece reflectir o seguinte fenómeno: águas mais ácidas e menos mineralizadas apresentam melhores condições para a dissolução de ferro (gráficos L e M da Figura 5.18).

Os pontos de água 63, 153, 168 e 169 correspondem a poços localizados em terrenos agrícolas, encontrando-se o ponto 153, desde há algum tempo ocupado por um pequeno rebanho de ovelhas. Visto que o zinco, cobre e brometo são elementos traço que fazem parte da constituição de fertilizantes e pesticidas, a relação existente entre estes elementos e o nitrato naqueles quatro pontos de água parece corroborar a seguinte hipótese: a água freática captada nestes poços está afectada pela aplicação de fertilizantes e pesticidas nas actividades agrícolas (gráficos P, Q e R da Figura 5.18). O ponto 131 é uma nascente localizada a jusante de um terreno ocupado por plantações de milho. A presença destes elementos menores em concentrações semelhantes às aquelas encontradas nos quatro pontos referidos parece concordar com o impacte agrícola nos aquíferos freáticos.

Das vinte e oito amostras analisadas apenas duas apresentam uma concentração em estanho acima do limite de detecção. Elas correspondem às amostras colhidas na nascente de Cruzes (ponto 202) e na ribeira do Pano (ponto 263, imediatamente a jusante da confluência com o efluente de uma metalúrgica). O facto de serem apenas estas duas amostras a revelarem valores de estanho acima do limite de detecção, parece indicar influência antrópica. A concentração em estanho encontrada no ponto 202 deve-se, provavelmente, à oxidação de electrodomésticos abandonados, enquanto a concentração em estanho observada no ponto 263 pode dever-se à proximidade deste ponto com a confluência do efluente de uma metalúrgica com a ribeira do Pano.

O ião fosfato foi detectado apenas em quatro das vinte e oito amostras analisadas, tendo-se observado a concentração mais elevada no furo da Zona Industrial de Oiã (ponto 127), com um valor de 0.28 mg/L. As restantes amostras onde ocorrem concentrações entre 0.06 e 0.08 mg/L de fosfato são: a fonte do Casal (ponto 131) que parece sofrer influência de terrenos agrícolas; o rio Águeda que pode estar influenciado por efluentes agro-pecuários, domésticos e industriais; a lagoa, na margem de Fermentelos (ponto 64) e a nascente de Cruzes (ponto 202). O facto de o fosfato ocorrer, nas águas analisadas, em concentrações muito baixas, parece indicar que este ião

tem uma elevada tendência para sair da fase aquosa, visto que mesmo nos pontos de água com nítida influência agrícola, onde seria de esperar concentrações consideráveis deste ião, observam-se concentrações abaixo de 0.02 mg/L. O ião fosfato apresenta elevada tendência para ser adsorvido pelas partículas argilosas do solo ou, até mesmo co-precipitar com oxihidróxidos de ferro e alumínio e, minerais de cálcio e magnésio (Reddy *et al.*, 1995), que estão presentes nalgumas litologias da área de estudo.

#### 5.4.6. Interações hidrobiogeoquímicas

As interações químicas que ocorrem entre água, rocha e seres vivos envolvem, normalmente, dissolução, complexação, precipitação e co-precipitação, sorção, difusão e advecção, que por sua vez são controlados pelas condições de pH, temperatura e potencial redox. As fases sólidas secundárias que se formam como consequência das interações hidrobiogeoquímicas (argilas, matéria orgânica, oxihidróxidos de ferro, manganês e alumínio), desempenham um papel importante na fixação de elementos, modificando assim, a composição química das águas (Pfeifer *et al.*, 2000).

Atendendo às distintas características geológicas das formações aquíferas e suas interações com a água, interessa identificar quais os minerais que estão a contribuir para a presença de iões em solução bem como os agentes capazes de dissolver os abundantes silicatos e escassos carbonatos da região estudada. Com este objectivo, introduziram-se os resultados das vinte e oito análises completas das amostras colhidas na campanha de Abril de 2006, no programa de modelação hidroggeoquímica Phreeqci®, de forma a obter os índices de saturação das principais fases minerais de cada amostra.

Tendo em conta que ocorrem alguns “olhos férreos” no sopé das elevações triásicas localizadas na margem direita do rio Cértima e na margem de Espinhel da Pateira de Fermentelos, que podem influenciar de forma significativa o quimismo das massas de água superficial e subterrânea, decidiu-se analisar a relação entre o índice de saturação, calculado através do programa Phreeqci®, para as espécies de ferro das águas amostradas e o seu potencial redox, de forma a identificar as condições que influenciam a especiação do ferro nas águas analisadas. Estas nascentes ricas em ferro reflectem a abundância de óxidos de ferro nos minerais constituintes dos grés triásicos. As águas subterrâneas que circulam nesta formação podem atingir potenciais redox que lhes permitem transportar significativas concentrações de ferro em solução, no entanto ao aflorarem, por meio de nascentes e, contactarem com a atmosfera oxidante rapidamente entram em desequilíbrio com esta espécie, precipitando óxidos de ferro, bem visíveis na lagoa férrea de Espinhel.

Ao projectar os índices de saturação nas espécies minerais com ferro versus o potencial redox (Figura 5.19), constata-se que a amostra do aquífero profundo, que corresponde ao ponto de água

218 que capta para além dos grés cretácicos, calcários jurássicos, apresenta o potencial redox mais baixo e está sobressaturada nas três fases minerais analisadas.

As águas superficiais estão sobressaturadas nas três fases minerais e apresentam potenciais redox intermédios, entre aqueles observados no aquífero profundo e aqueles observados no aquífero freático.

As duas amostras do aquífero freático, que correspondem aos pontos de água 219 e 202 (poço com drenos radiais dos Serviços Municipalizados de Águeda e a nascente de cruces, respectivamente), estão subsaturadas em hidróxido de ferro amorfo e sobressaturadas nas outras duas espécies, reflectindo a maior propensão das fases amorfas para se dissolverem, pois não têm uma estrutura cristalina, mais difícil de quebrar.

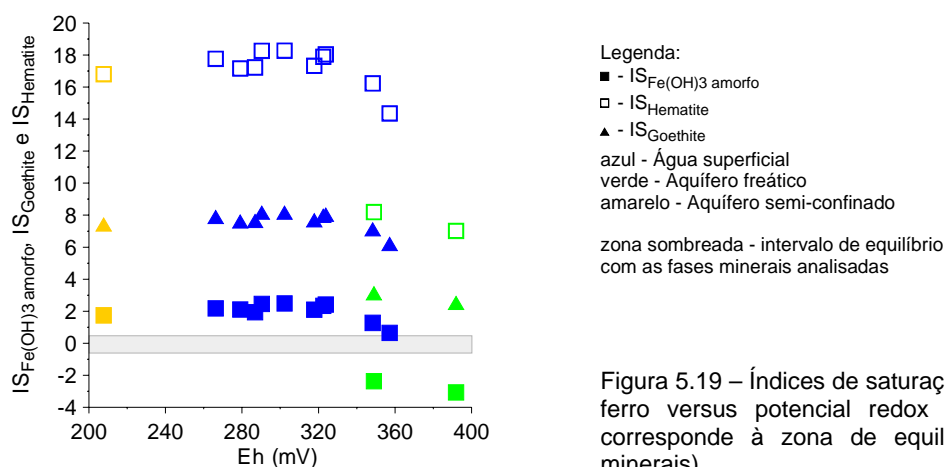


Figura 5.19 – Índices de saturação das espécies com ferro versus potencial redox (área a sombreado corresponde à zona de equilíbrio com as fases minerais).

Tendo em conta que a Pateira de Fermentelos é um zona húmida com um regime hidrodinâmico de muito baixa energia, que sustenta um importante ecossistema, é de prever que os sedimentos do fundo da lagoa e das planícies aluviais adjacentes sejam ricos em matéria orgânica. Deste modo e, sabendo que a decomposição da matéria orgânica produz dióxido de carbono que, por sua vez se dissolve na água, contribuindo para a acidez da água, decidiu-se projectar a pressão parcial deste gás versus os índices de saturação em calcite, sílica nas três formas (amorfa, calcedónia e quartzo), albite e caulinite, sendo este último mineral um dos principais minerais da fracção argilosa das formações aquíferas da zona de estudo (Rocha, 1993), que pode resultar da alteração da albite (Figura 5.20).

Da análise dos gráficos da Figura 5.20, observa-se um aumento da pressão parcial do dióxido de carbono das águas superficiais para o aquífero freático. Este aumento deve-se, provavelmente, à maior facilidade das primeiras em estabelecerem trocas gasosas com a atmosfera, equilibrando a pressão parcial do dióxido de carbono dissolvido com a pressão parcial deste gás na atmosfera. As águas do aquífero freático apresentam uma pressão parcial em dióxido de carbono superior à



das águas superficiais, provavelmente devido à introdução de dióxido de carbono produzido aquando da decomposição da matéria orgânica presente no solo que cobre o aquífero freático, conjugada com uma maior dificuldade de este reequilibrar a pressão parcial deste gás com a atmosfera, comparativamente às massas de água superficial.

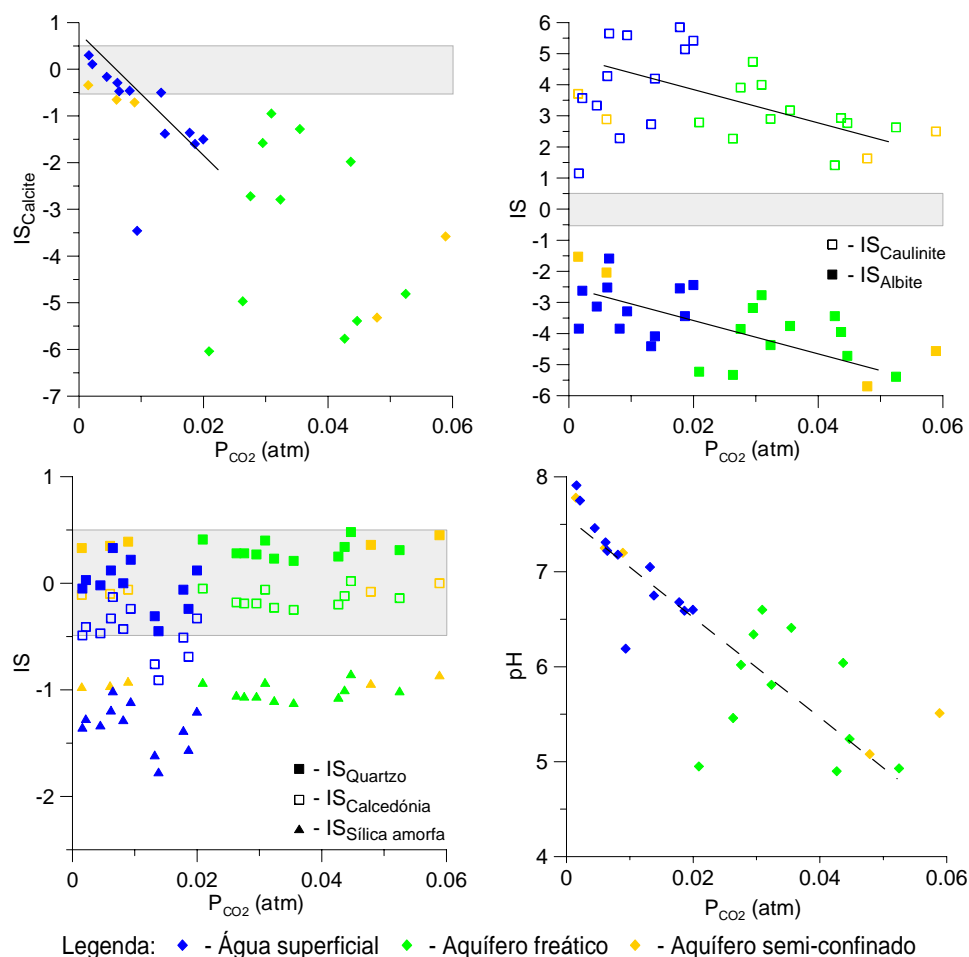


Figura 5.20 – Índices de saturação da calcite e de alguns minerais silicatados versus a pressão parcial do dióxido de carbono (área a sombreado corresponde à zona de equilíbrio com as fases minerais).

O aquífero semi-confinado está representado por três amostras com muito baixa pressão parcial do dióxido de carbono que coincidem com as captações mais profundas (pontos 67, 154 e 218), provavelmente, reflectindo o efeito do consumo deste gás na alteração de algumas fases minerais presentes nas formações aquíferas captadas, como os silicatos e carbonatos. As outras duas amostras do aquífero semi-confinado que ficam projectadas no extremo com maior pressão parcial do dióxido de carbono são os furos menos profundos (pontos 127 e 145), reflectindo provavelmente, a interacção entre o tempo de residência da água e o consumo do dióxido de carbono na alteração de minerais presentes nas formações aquíferas (Figura 5.20).

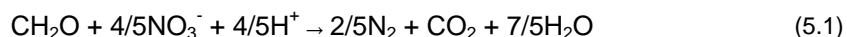
A calcite está, na maior parte das amostras, subsaturada, existindo apenas uma amostra do aquífero profundo e oito amostras de água superficial perto do equilíbrio com esta fase mineral. Esta acentuada subsaturação em calcite deve-se essencialmente à pequena expressão de minerais carbonatados nas formações geológicas presentes na área de estudo e à baixa permeabilidade da Formação carbonatada. O alinhamento oblíquo descendente da maioria das amostras de água superficial parece indicar que o aumento da pressão parcial do dióxido de carbono que, ao dissolver-se na água, reduz o pH e induz um aumento da taxa de dissolução da calcite, afasta as soluções do equilíbrio com este mineral.

A relação entre o pH e a pressão parcial do dióxido de carbono nas distintas águas analisadas indica que quanto maior for a pressão parcial deste gás, mais ácida tende a ser a água. Das águas superficiais para as águas do aquífero freático, observa-se um aumento da pressão parcial do dióxido de carbono, com uma diminuição do pH, encontrando-se no extremo mais ácido as duas amostras do aquífero semi-confinado que apresentam maior pressão parcial em dióxido de carbono (pontos 127 e 146).

Na projecção do índice de saturação da albite e da caulinite versus a pressão parcial do dióxido de carbono observa-se uma evolução interessante: das águas superficiais para as águas subterrâneas profundas dissolve-se mais albite, concomitantemente com a aproximação do equilíbrio com a caulinite. Ou seja, as águas mais próximas do equilíbrio com a albite estão mais sobressaturadas em caulinite, enquanto as águas com maior capacidade para dissolver albite (mais subsaturadas neste mineral) estão mais próximas do equilíbrio com a caulinite. Esta evolução parece indicar que à medida que se dissolve mais albite, mais cedo irá precipitar caulinite, podendo esta última resultar da dissolução incongruente de albite.

As águas do aquífero semi-confinado, em equilíbrio com uma pressão parcial de dióxido de carbono mais elevada, são mais agressivas para a albite, enquanto as águas superficiais, com menor pressão parcial daquele gás, são menos agressivas e, portanto, estão mais próximas do equilíbrio com este mineral e mais sobressaturadas em caulinite. As águas do aquífero freático estão numa posição intermédia. Os pontos 67 e 218 são captações que exploram os grés triásicos e os calcários jurássicos, respectivamente, e estão deslocadas da tendência evolutiva referida, indicando que esta evolução está sobretudo relacionada com os arenitos cretácicos, que apresentam albite e caulinite na sua composição mineralógica (Rocha, 1993).

Outro tipo de interacção interessante entre a dissolução do dióxido de carbono nas águas, decorrente da decomposição da matéria orgânica, e o controlo da concentração de determinados iões nas águas é aquela referida por Pawels *et al.* (1998). Segundo estes autores, a decomposição da matéria orgânica pode implicar a ocorrência de desnitrificação, se não houver reposição do oxigénio consumido aquando da decomposição da matéria orgânica, passando a utilizar-se outro receptor de electrões como o azoto da molécula de nitrato, que se demonstra através da seguinte equação:



Da análise feita anteriormente sobre a concentração dos aniões maioritários ao longo do ano hidrológico destaca-se de imediato a distinta concentração em nitrato nos três meios amostrais – águas superficiais, aquífero freático e aquífero semi-confinado.

O poço de Fermentelos (ponto de água 63) destaca-se de todos os outros pela elevada e pouco variável concentração em nitrato, com um mínimo de 78 mg/L em Janeiro de 2006 e um máximo de 133 mg/L em Setembro de 2006.

Sabendo que a água subterrânea alimenta a lagoa e as linhas de água, e que a maior parte dos terrenos envolventes à Pateira de Fermentelos suportam culturas anuais de regadio (Anexo A.5), é bastante intrigante a discrepância de concentração em nitrato entre as águas superficiais e as águas subterrâneas de pouca profundidade.

Em princípio, a acentuada diminuição da concentração em nitrato do aquífero freático para a lagoa deve-se, fundamentalmente, ao efeito de diluição do rio Cértima, nos meses em que a sua concentração em nitrato é baixa, visto que, segundo o balanço hídrico calculado no Capítulo 4, a contribuição do rio Cértima para a lagoa, representa cerca de 90 % das entradas da lagoa, frente a apenas 2 % da contribuição do aquífero freático. No entanto, outros factores podem contribuir, embora a menor escala, para a diminuição da concentração em nitrato nesta zona húmida e, provavelmente, também ao longo do rio Cértima, visto que a sua bacia hidrográfica também está, em grande parte da sua área, ocupada por terrenos agrícolas, explorações pecuárias e zonas urbanizadas e, portanto é de esperar que as águas subterrâneas freáticas drenadas ao longo da bacia hidrográfica do rio Cértima estejam, também, contaminadas por nitrato. Assim, a acentuada diminuição da concentração em nitrato, pode estar relacionada não só com a diluição proporcionada pela contribuição do rio Cértima, mas também com a diluição decorrente da adição de água da chuva e, também, relacionada com outros mecanismos, como a desnitrificação e a assimilação por parte das plantas.

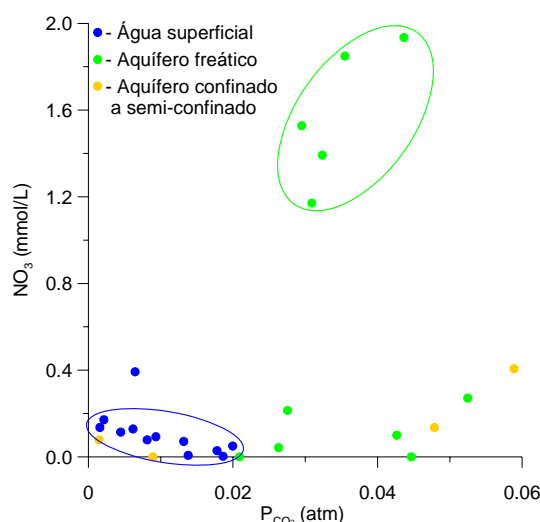
A desnitrificação pode ocorrer na zona hiporreica, onde ocorre a transição entre água subterrânea e água superficial, constituída, na Pateira de Fermentelos, por solos areno-argilo-lodosos, ricos em matéria orgânica decomposta, típicos de um ambiente de muito baixo hidrodinamismo como é a Pateira de Fermentelos.

Assim, a partir da análise dos vinte e oito pontos de água amostrados em Abril de 2006, realizou-se a especiação de iões através do programa Phreeqci®, determinou-se a pressão parcial do CO<sub>2</sub> e projectou-se a concentração em nitrato versus a pressão parcial do CO<sub>2</sub> para as amostras dos três meios hídricos.

Dentro de cada meio hídrico não se observa uma relação clara entre a concentração em nitrato e a pressão parcial do dióxido de carbono, no entanto, as águas do aquífero freático ricas em nitrato

e as águas superficiais pobres em nitrato agrupam-se em dois grupos opostos: um grupo constituído pelas águas do aquífero freático ricas em nitrato e com elevada pressão parcial do dióxido de carbono e outro grupo, constituído pelas águas superficiais, pobres em nitrato e com baixa pressão parcial do dióxido de carbono.

Não se observa uma relação evidente entre a pressão parcial do dióxido de carbono e a concentração em nitrato. No entanto, o padrão de distribuição das amostras no gráfico da Figura 5.21 poderá ser explicado por alguma ou várias das seguintes hipóteses: (1) a baixa concentração em nitrato encontrada nas águas superficiais deve-se a mecanismos de desnitrificação que não dependem da decomposição da matéria orgânica; (2) a baixa concentração em nitrato encontrada nas águas superficiais deve-se a outro tipo de mecanismo capaz de reduzir a concentração em nitratos, como a assimilação por parte das plantas; (3) a baixa concentração em nitrato encontrada nas águas superficiais é devida essencialmente ao efeito de diluição da chuva (concentração média de 0.7 mg/L, Condesso de Melo, 2002) e do rio Cértima, que em Abril de 2006 (altura em foram colhidas estas amostras) apresentava baixa concentração em nitrato (8 mg/L); (4) a baixa concentração em nitrato deve-se, em parte, à decomposição da matéria orgânica que ocorre nos sedimentos do fundo da Pateira de Fermentelos, cuja superfície de contacto com a atmosfera, permite a realização de trocas gasosas na interface água – ar, que por sua vez proporcionam o rápido equilíbrio da pressão parcial do dióxido de carbono com a atmosfera, baixando-a para valores semelhantes ao da atmosfera ( $P_{CO_2}$  da atmosfera é de 0.00033 atm, Langmuir, 1997); ou ainda, (5) a baixa pressão parcial do dióxido de carbono encontrada nas águas superficiais pode ser devida ao consumo desta espécie noutro tipo de reacções, como a dissolução de carbonatos e silicatos.



A baixa concentração em nitrato observada nas águas do aquífero confinado a semi-confinado reflecte a lenta conexão hidráulica entre a zona freática e a zona semi-confinada do aquífero, ou seja, as águas captadas actualmente em profundidade foram recarregadas há muito tempo, numa altura em que não havia contaminação por nitratos na zona superficial. Segundo Condesso de Melo (2002), a idade das águas do sistema aquífero Cretácico de Aveiro na zona de Fermentelos varia de recente a 7000 anos.

O aumento da concentração em nitratos nas águas do aquífero freático está relacionado com um aumento da condutividade eléctrica da água, o que reflecte a deterioração da qualidade da água (Figura 5.22). A fonte de contaminação mais provável para a introdução do nitrato no aquífero freático parece ser a agricultura, pois a correlação entre a concentração do nitrato e do potássio (que é outro dos três elementos fundamentais, constituintes dos fertilizantes – N:P:K) nestas águas é muito semelhante àquela existente entre a condutividade eléctrica e o nitrato (Figura 5.22).

O meio hídrico mais afectado pela contaminação por nitrato é sem dúvida o aquífero freático e, sabendo que este alimenta o aquífero semi-confinado, as linhas de água e a Pateira de Fermentelos, se nada for feito para evitar ou minimizar a introdução deste ião no meio hídrico, as outras massas de água, dependentes do aquífero freático, poderão ser afectadas, a curto ou médio prazo. A água superficial, devido à sua dinâmica mais acelerada que as outras duas massas de água, parece apresentar uma capacidade de regulação de contaminantes relativamente eficaz, devido às características da zona húmida associada à Pateira de Fermentelos e todos os processos biogeoquímicos a ela associados. No entanto, o aquífero semi-confinado, devido às suas características tipicamente abióticas, tem provavelmente, uma fraca capacidade de atenuação de contaminantes, que poderá pôr em risco a sustentabilidade da qualidade do sistema aquífero Cretácico de Aveiro a médio ou longo prazo.

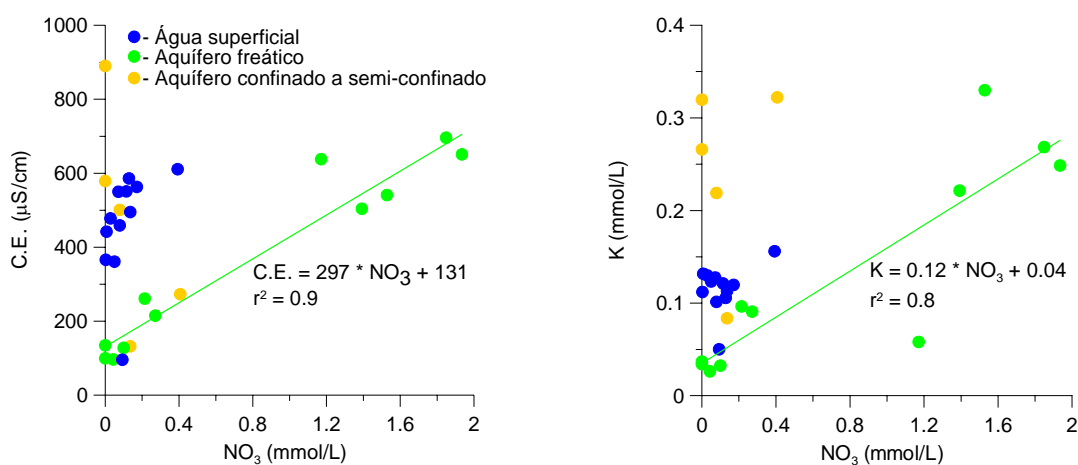


Figura 5.22 – Condutividade eléctrica versus concentração em nitrato. Recta de regressão aplicada apenas às águas do aquífero freático.

Através da análise da variação temporal dos parâmetros monitorizados nos dez pontos de água amostrados mensalmente, constatou-se que a composição química da Pateira de Fermentelos depende fortemente da composição química do rio Cértima. No entanto, o estudo da variação temporal dos aniões maiores e da composição química detalhada das massas de água superficial, permitiu verificar que a composição química da água da Pateira de Fermentelos parece menos degradada que a composição química do rio Cértima, reflectindo uma capacidade de atenuação de contaminantes nesta zona húmida.

A Pateira de Fermentelos e linhas de água adjacentes parecem apresentar um papel muito importante na diluição e atenuação de contaminantes presentes nas águas subterrâneas drenadas pela rede hidrográfica, que foi sendo identificado ao longo deste capítulo. Atendendo às implicações da capacidade de redução da concentração em nitrato e outros contaminantes, da Pateira de Fermentelos, em termos de sustentabilidade desta zona húmida, decidiu-se tentar estimar a capacidade de diluição da lagoa devido à contribuição do rio Cértima e da chuva; e, a sua capacidade de atenuação devido aos distintos processos hidrobiogeoquímicos que contribuem para a diminuição da concentração de contaminantes nesta zona húmida.

Como foi visto anteriormente, a concentração em nitrato no meio hídrico pode ser afectada por diversos processos hidrobiogeoquímicos que, muito provavelmente, ocorrem na Pateira de Fermentelos. O zinco, que é um dos componentes menores dos fertilizantes sintéticos, também pode ser removido da solução por redução, co-precipitação, adsorção e complexação na zona hiporreica ou pela assimilação das plantas. Deste modo, decidiu-se estimar o factor de atenuação da Pateira de Fermentelos, a partir da comparação da concentração em nitrato e em zinco, no aquífero freático e na lagoa.

O factor de diluição foi determinado a partir da variação da concentração de dois elementos considerados conservativos no sistema aquífero freático e na lagoa – o cloreto e o brometo. No aquífero freático determinou-se a média da concentração em cloreto e brometo, a partir dos resultados obtidos nos pontos de água, do aquífero freático, marginais à Pateira de Fermentelos (pontos 63, 131 e 168), enquanto na lagoa, determinou-se a média das concentrações nos mesmos iões dos pontos 64, 80 e 94.

Ao dividir a concentração média em cloreto da lagoa pela concentração média em cloreto do aquífero freático, obteve-se um factor de diluição de 67 %, enquanto que a partir da concentração em brometo, obteve-se um factor de diluição de 65 %. Assim, o factor de diluição médio, calculado a partir da concentração em cloreto e brometo, nas duas massas de água, é de 66 % (Tabela 5.7).

O factor de atenuação da Pateira de Fermentelos foi calculado, tendo em conta que para além da atenuação de contaminantes, também ocorre diluição na Pateira de Fermentelos. Assim, reduziu-se a concentração em nitrato e zinco do aquífero freático (média dos pontos 63, 131 e 168), para 66 % do seu valor e, em seguida, dividiu-se a concentração em nitrato e zinco na lagoa, pela concentração destes iões no aquífero freático, após diluição (66 % da concentração encontrada no

aquífero freático). O factor de atenuação obtido através da concentração em nitrato e zinco é de 11 % (Tabela 5.7).

Os resultados obtidos para os factores de diluição e atenuação de contaminantes, na Pateira de Fermentelos, parecem indicar uma elevada capacidade de atenuação, para além da sua capacidade de diluição. No entanto, através dos resultados obtidos na monitorização mensal da concentração em nitrato no aquífero freático e na lagoa (Anexo C.19), constata-se que em Novembro e Dezembro de 2006, as zonas marginais da lagoa e o rio Cértima apresentavam concentrações mais elevadas em nitrato do que o aquífero freático no ponto 63 que, ao longo do resto do ano apresentou uma concentração em nitrato superior à das águas superficiais. Este facto pode reflectir o papel da mobilização de contaminantes durante as primeiras chuvas, após longos períodos secos, que se sobrepõe ao efeito de diluição e atenuação de contaminantes que a Pateira de Fermentelos pode apresentar. Também a acentuada taxa de evaporação que ocorre a partir da superfície de água livre da Pateira de Fermentelos, pode estar a contribuir para a concentração de iões em solução na lagoa, mascarando assim o efeito de diluição e colocando em causa o comportamento supostamente conservativo do cloreto e brometo no sistema aquífero freático – lagoa.

lão	Aquífero freático (mg/L)	Lagoa (mg/L)	(%)	
Cloreto	37.2	25.1	67	Factor de diluição: 66 %
Brometo	0.184	0.139	65	
Nitrato	107.0 (70.6, após diluição)	7.9	11	Factor de atenuação: 11 %
Zinco	0.0395 (0.0261, após diluição)	0.0029	11	

Tabela 5.7 – Factores de diluição e de atenuação de contaminantes na Pateira de Fermentelos.

Em síntese, pode concluir-se que na zona de estudo, a água da chuva com uma fácies mista e levemente ácida que cai no solo, lixiviando alguns elementos das plantas pelas quais passou até chegar ao solo, reage aqui com os ácidos orgânicos que constituem o húmus e dissolve algum dióxido de carbono que é libertado durante a decomposição da matéria orgânica, adquirindo assim maior acidez e aportando elementos essenciais às plantas que os removem da solução.

A fracção de água caída no solo que atinge o nível freático, cedeu entretanto os elementos alcalino terrosos às plantas e sofreu evaporação, adquirindo uma fácies cloretada sódica que num meio rochoso muito pouco reactivo como o é o sistema aquífero Cretácico de Aveiro poderá preservar essas características, mesmo a maior profundidade, como o demonstra a composição química do ponto 127 (um furo de 72 m). No entanto, se a água que se infiltrou, circular por zonas onde ocorre a Formação carbonatada, calcários jurássicos ou grés triásicos ou; sofrer processos de dissolução/precipitação ou; for afectada por efluentes antrópicos, divergirá para as tão distintas composições químicas que se observam no aquífero freático e no aquífero semi-confinado.

As águas superficiais apresentam uma composição em elementos maiores distinta, consoante a linha de água principal em que se enquadram: (1) na ribeira do Pano, as formações essencialmente silicatadas, imprimem um carácter misto; (2) no rio Cértima, a influência dos relativamente pequenos afloramentos de calcários jurássicos e grés triásicos parece dominar na composição em elementos maiores das águas do rio Cértima e da Pateira de Fermentelos; e, (3) no rio Águeda, a predominância de rochas graníticas e metamórficas muito pouco reactivas possibilita a circulação de águas muito pouco mineralizadas e levemente ácidas neste rio.

As águas subterrâneas apresentam uma vasta gama de fácies hidroquímicas e de graus de mineralização, consoante as litologias por onde circulam, o tempo de contacto com os distintos minerais, a profundidade a que se encontram e os impactes antrópicos que sofreram.

As concentrações em ferro encontradas nas águas superficiais e, nomeadamente na Pateira de Fermentelos, parecem dever-se essencialmente à existência de nascentes férreas que drenam para a lagoa. Enquanto, no aquífero profundo constituído pelos calcários jurássicos, a presença deste elemento parece dever-se à dissolução de pirite. No aquífero freático, a presença de ferro, parece estar associada a focos de contaminação que também aportam alumínio e estanho.

No aquífero freático, a presença de zinco, cobre, brometo e nitrato parece estar associada à agricultura, que proporciona focos de contaminação difusa ricos nestes iões. E, a redução drástica da concentração destes quatro iões nas águas superficiais que drenam o aquífero freático Cretácico de Aveiro parece evidenciar, para além da diluição induzida pela chuva, uma acentuada capacidade de atenuação destes contaminantes. A fraca conexão hidráulica entre o aquífero freático e o aquífero profundo semi-confinado protege, por enquanto, este último de episódios de contaminação.

O ponto 219 parece ser o único ponto de água que revela, embora de forma incipiente, contaminação no aquífero freático, devida a actividades industriais, que aportam níquel, alumínio e chumbo.

As plantas associadas à zona húmida da Pateira de Fermentelos parecem desempenhar um papel preponderante na contenção do processo natural e potenciado pelo Homem (devido aos efluentes domésticos, pecuários e agrícolas, ricos em nutrientes) de eutrofização da lagoa, bem como na retenção de metais provenientes de formações geológicas drenadas pela bacia ou de actividades industriais e redes viárias que atravessam a bacia.



## **CAPÍTULO 6**

# **INTERACÇÕES ÁGUA SUBTERRÂNEA – ÁGUA SUPERFICIAL**

A Pateira de Fermentelos está localizada no cruzamento de duas massas de água distintas e fundamentais para o desenvolvimento económico do Baixo Vouga – o sistema aquífero Cretácico de Aveiro e o rio Cértima e respectivos afluentes, que condicionam a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos da zona de estudo (Figura 6.1). Por um lado, a Pateira de Fermentelos corresponde à zona terminal do rio Cértima, herdando a assinatura hidroquímica das características naturais e actividades antrópicas que se desenvolvem na tão humanizada bacia do rio Cértima; por outro lado, esta lagoa localiza-se na limitada zona de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, existindo conexão hidráulica entre a lagoa e a parte freática deste importante sistema aquífero.

Do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos na zona de estudo interessa portanto, identificar as interações entre a água superficial que circula na parte terminal do rio Cértima e que aflui à Pateira de Fermentelos e, a água subterrânea que se infiltra nos terrenos adjacentes a esta zona húmida e contribui para a recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro.

Com o objectivo de identificar e interpretar as interações hidrodinâmicas e hidroquímicas entre a massa de água subterrânea das formações cretácicas e a massa de água superficial da Pateira de Fermentelos e zonas húmidas adjacentes, procede-se, neste capítulo, à análise comparativa da variação espaço-temporal da superfície piezométrica do aquífero freático e do nível das massas de água superficial, ao longo do ano 2005/06, descritas no Capítulo 4 deste trabalho.

As interações hidroquímicas entre a lagoa e as formações aquíferas envolventes são analisadas a partir da caracterização da variabilidade hidroquímica espacial de ambas as massas de água e, da variação temporal dos parâmetros analisados ao longo do ano hidrológico de 2005/06, nas águas subterrâneas e superficiais da zona da Pateira de Fermentelos, descritas no Capítulo 5 deste trabalho.

No final do presente capítulo são analisadas as principais implicações das interações água subterrânea – água superficial nos mecanismos de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na zona onde se comporta como aquífero livre a semi-confinado, bem como na sustentabilidade da Pateira de Fermentelos, zonas húmidas adjacentes e ecossistemas associados.

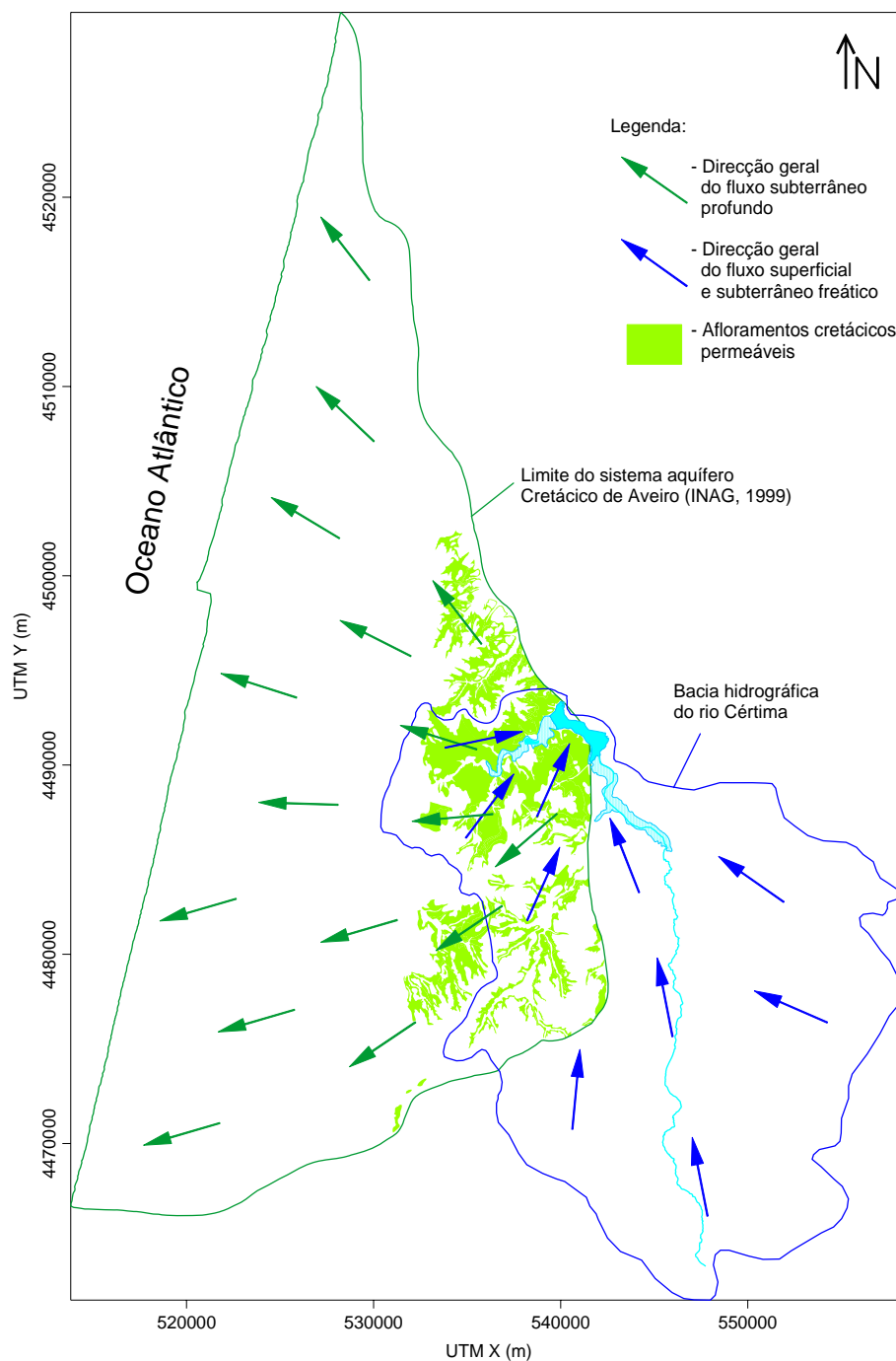


Figura 6.1 – Comparação das direcções de fluxo dominantes na bacia do rio Cértima e no sistema aquífero Cretácico de Aveiro.

## 6.1. Interações hidrodinâmicas

Na zona da Pateira de Fermentelos, o sistema aquífero Cretácico de Aveiro apresenta dois níveis piezométricos: um mais superficial, que se comporta como freático, e outro mais profundo, que se comporta como semi-confinado, recebendo drenância dos níveis superiores. O potencial hidráulico

do aquífero freático, é superior ao nível da lagoa, ao longo de quase todo o ano hidrológico, favorecendo a transferência de água deste nível aquífero para a lagoa.

A configuração da superfície freática do sistema aquífero Cretácico de Aveiro em torno da lagoa revela o papel drenante da lagoa e respectiva rede hidrográfica, originando uma depressão acentuada da superfície freática em direcção à lagoa e linhas de água afluentes, indicando que o aquífero transfere água para a lagoa e respectiva rede hidrográfica. Esta transferência pode dar-se indirectamente, através da descarga de nascentes perenes e efémeras que alimentam as linhas de água que, por sua vez, afluem à lagoa e, directamente através da transferência lateral e vertical do aquífero, atravessando a zona hiporreica, até à lagoa. No entanto, esta transferência vertical pode ser muito localizada e estar restringida a uma estreita faixa na zona Oeste da lagoa e ao longo da ribeira do Pano, onde afloram os Grés grosseiros inferiores e os Grés micáceos, uma vez que a Pateira de Fermentelos assenta, na maior parte da sua área, sobre as formações triásicas pouco permeáveis (Barra, 1998). As nascentes imersas relatadas pelos habitantes de Requeixo e Fermentelos podem ser um testemunho de zonas de maior permeabilidade, onde a transferência directa do aquífero freático para a lagoa pode ocorrer.

O volume de água subterrânea transferido lateralmente ou através das nascentes para a rede hidrográfica parece ser incapaz de assegurar o escoamento de base das linhas de água, bem como a manutenção do espelho de água durante o período de estiagem, visto que o rio Cértima, a ribeira do Pano e outras ribeiras podem secar durante o Verão. Na época seca, a montante da Mealhada, o rio Cértima pode secar e, a jusante desta localidade, a descarga das estações de tratamento de águas residuais da Mealhada, Anadia e Aguada de Cima, garantem o caudal do rio Cértima (Capela, 2006, Com. Oral). De Oliveira do Bairro até à Pateira de Fermentelos, a existência de algumas nascentes perenes, associadas às formações triásicas, no sopé das elevações que ladeiam a planície aluvial do rio Cértima, parece contribuir, embora de forma limitada, para o caudal do rio Cértima durante o Verão e, portanto, para a manutenção do espelho de água da Pateira de Fermentelos.

A maior ou menor tendência para a descarga do aquífero freático através de nascentes que alimentam as linhas de água e a lagoa, pode ser interpretada em termos de proximidade do nível freático à superfície topográfica, ou seja, quanto mais próximo da superfície topográfica se encontrar o nível freático, maior será a probabilidade de ocorrência de descarga do aquífero para a superfície. No âmbito desta descarga, o maior ou menor caudal de descarga pode ser interpretado como o maior ou menor declive da superfície freática que se dirige para a superfície topográfica. Como foi visto no Capítulo 4, a superfície freática tende a ser mais inclinada a meia encosta e, a sua inclinação será tanto maior quanto maior for o desnível entre as zonas altas e as zonas marginais à Pateira de Fermentelos e linhas de água, que tende a ocorrer preferencialmente durante a época húmida, quando há maior excesso de água nas zonas de cota mais elevada.

É importante referir que durante o presente trabalho não foram detectados sinais evidentes de que a lagoa também possa alimentar o aquífero, ou seja, de que a relação hidrodinâmica água superficial – água subterrânea se possa inverter (Figura 6.2). No entanto, através dos resultados obtidos no balanço hídrico da lagoa (Capítulo 4); da observação da rápida descida do nível de água da lagoa, à medida que a estação seca progride (obrigando o INAG a construir um açude sazonal para conter a descida do nível da lagoa) e da existência de zonas cascalhentas no leito da lagoa, adjacente à margem de Fermentelos, admite-se que, em determinadas alturas do ano e em zonas específicas, a lagoa poderá perder água para formações geológicas subjacentes, que possam apresentar uma cota piezométrica inferior à lagoa e que estejam hidraulicamente conectadas à lagoa.

Com o objectivo de avaliar a variação da tendência de descarga do aquífero ao longo do ano hidrológico e, identificar os locais onde é mais provável ocorrer descarga e/ou recarga de água subterrânea, procedeu-se à construção de mapas de profundidade do nível freático relativamente à superfície topográfica, aos quais se sobrepuseram mapas de direcção de fluxo subterrâneo, a partir da piezometria (Figura 6.2). Assim, nas zonas onde há convergência do fluxo subterrâneo e o nível freático está a reduzida profundidade, pode afirmar-se que o aquífero tem maior tendência para descarregar água para a superfície. Enquanto nas zonas onde ocorre convergência do fluxo subterrâneo, mas a superfície freática está afastada da superfície topográfica, podem suceder dois fenómenos: as captações existentes nessas zonas estão a explorar o aquífero, originando o rebaixamento observado; ou a superfície freática exhibe depressões naturais que revelam a tendência do aquífero para ser recarregado pela água da chuva que se infiltra e circula para zonas mais profundas do aquífero.

As zonas de fluxo subterrâneo divergente, que coincidem com um afastamento do nível freático face à superfície topográfica, localizam-se geralmente no topo das elevações e, consequentemente, onde ocorrem as divisórias de água superficial. No centro destas zonas de fluxo subterrâneo divergente, existe maior propensão para a recarga do aquífero em profundidade, visto que aqui existe uma acentuada componente vertical descendente do fluxo subterrâneo que, por um lado induz a divergência deste fluxo, originando a distribuição do excesso de água, de cotas superiores para cotas inferiores e; por outro lado induz a percolação em profundidade.

Da análise da Figura 6.2, Abril de 2006 parece ser o mês, do ano hidrológico estudado, em que, na maior parte da área estudada, o nível freático esteve mais próximo da superfície topográfica coincidindo, portanto, com a altura em que o aquífero apresentava maior tendência para descarregar para as linhas de água e lagoa. Nos meses de Julho e Agosto de 2006, observam-se zonas mais extensas e maior número de zonas onde o nível freático está pelo menos 4 m abaixo da superfície topográfica, reflectindo um rebaixamento do nível freático neste período e, consequentemente a menor tendência de o aquífero transferir água para a rede hidrográfica.

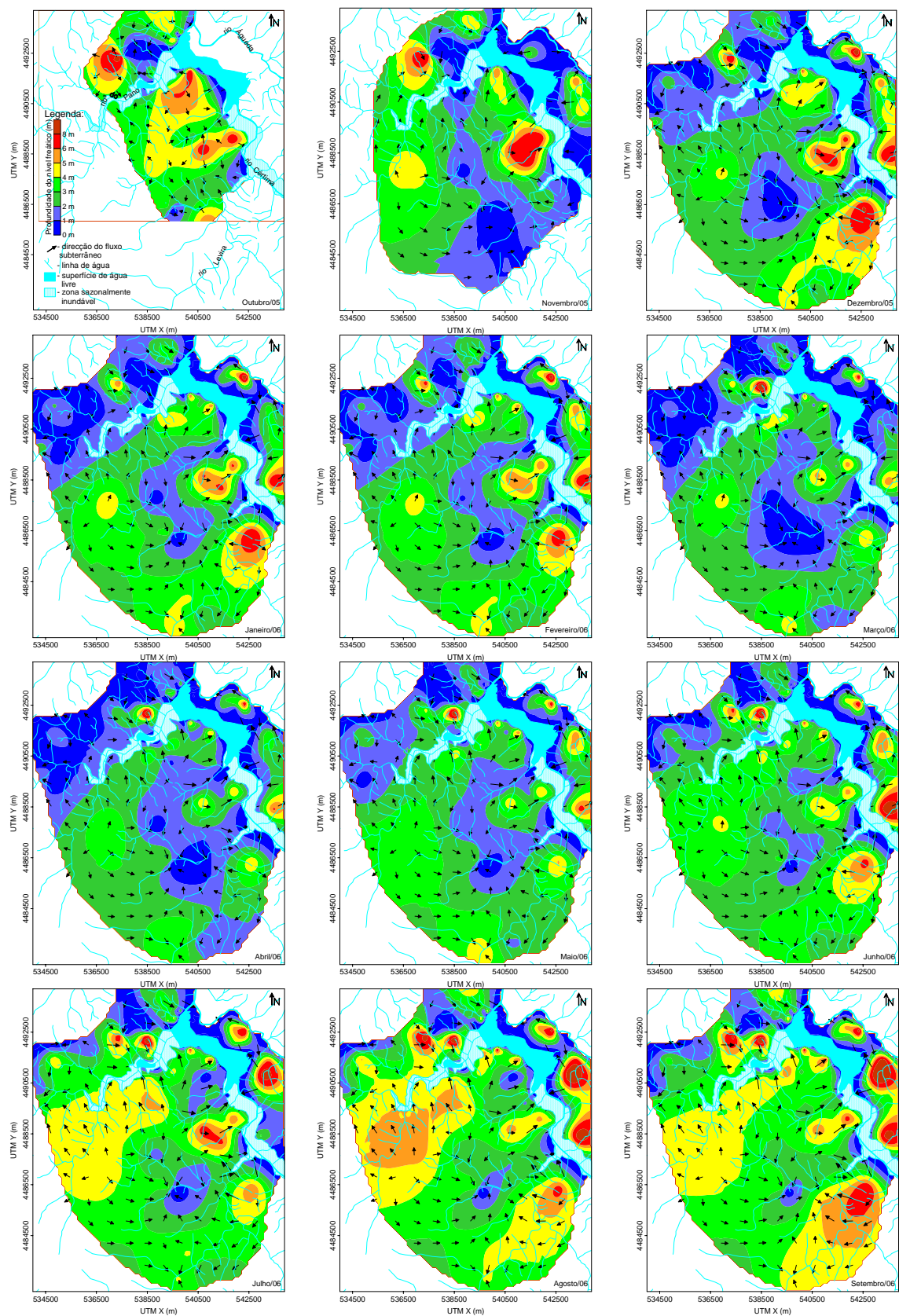


Figura 6.2 – Evolução da profundidade do nível freático relativamente à superfície topográfica ao longo do ano hidrológico 2005/06 e principais direcções de fluxo subterrâneo na zona da Pateira de Fermentelos.

Na margem Oeste da Pateira de Fermentelos, em Fermentelos, existem duas zonas bem individualizadas, onde o nível freático está rebaixado, durante todo o ano hidrológico. Esta margem está ocupada por terrenos agrícolas que exploram o aquífero e a lagoa em simultâneo, através de poços com minas que ligam a lagoa ao poço, o que poderá justificar a existência destes dois cones. No entanto, o facto de persistirem mesmo durante a época húmida, quando os poços não são explorados, parece indicar tratar-se da ocorrência de uma zona de fluxo subterrâneo descendente, em direcção à zona mais profunda e semi-confinada do aquífero. Provavelmente, será associado a estas zonas, que a água da lagoa se poderá infiltrar no aquífero.

O facto de o leito da lagoa, na zona adjacente às depressões observadas do nível freático na margem de Fermentelos, ser constituído por elevada percentagem de areão e cascalho, detectados aquando da navegação na lagoa, pode indicar tratar-se de uma zona onde existe conexão hidráulica entre a lagoa, o aquífero freático e possivelmente, o nível aquífero semi-confinado. Apesar da piezometria do aquífero semi-confinado na zona da Pateira de Fermentelos estar ainda mal conhecida, foi possível, a partir da informação obtida em seis furos localizados em Fermentelos, concluir que a superfície piezométrica do aquífero semi-confinado inclina ligeiramente no sentido da lagoa, indicando um certo grau de conexão hidráulica entre o aquífero freático e o aquífero semi-confinado, capaz de influenciar a direcção do fluxo subterrâneo em profundidade.

## **6.2. Interacções hidroquímicas**

Do ponto de vista hidroquímico, a composição hidroquímica da lagoa reflecte a do rio Cértima. Deste modo, pode considerar-se que a lagoa é sobretudo um alargamento do rio Cértima e que a composição hidroquímica da lagoa depende das formações geológicas presentes na bacia do rio Cértima, das actividades que aqui se desenvolvem, da capacidade de diluição da água da chuva e da capacidade de atenuação das zonas húmidas associadas à Pateira de Fermentelos.

A elevada capacidade de atenuação da zona húmida associada à Pateira de Fermentelos deve-se fundamentalmente a reacções hidrobiogeoquímicas que imobilizam os contaminantes, das quais se destaca, pelo tipo de rochas e sedimentos que caracterizam esta zona húmida, a co-precipitação de carbonatos; a adsorção a minerais argilosos e matéria orgânica existentes nos sedimentos; a precipitação de oxihidróxidos de ferro; a desnitrificação; a assimilação por parte da biosfera e a complexação com a matéria orgânica, muito abundante nos sedimentos típicos de baixo hidrodinamismo, como a Pateira de Fermentelos. No entanto, a maioria destes mecanismos de atenuação não são irreversíveis, podendo os metais retidos nos sedimentos, voltar à fase aquosa, mediante determinadas condições de pH e Eh que promovem a mobilização dos contaminantes. De um modo geral, as condições de maior acidez e maior oxidação promovem a mobilização da maioria dos metais retidos nos sedimentos, assim como a morte e decomposição

das plantas que assimilam e acumulam nutrientes e metais, devolve os contaminantes à fase aquosa.

A água da Pateira de Fermentelos apresenta características físico-químicas favoráveis à retenção de contaminantes, das quais se destacam: um pH neutro a ligeiramente alcalino; um potencial redox que varia de 144 a 501 mV e uma concentração considerável em bicarbonatos, sulfatos e ferro. A contribuição de oxihidróxidos de ferro, provenientes dos grés triásicos drenados pela Pateira de Fermentelos e a abundância de matéria orgânica proveniente do ecossistema associado à Pateira de Fermentelos, também devem desempenhar um papel importante na retenção de contaminantes.

Se durante a fase de dormência dos jacintos-de-água ocorrerem inundações capazes de evacuar os tecidos mortos do espelho de água da lagoa, como sucedeu no ano hidrológico estudado, a devolução dos contaminantes assimilados por estas plantas não decorrerá na Pateira de Fermentelos, mas sim nos rios Águeda e Vouga, ou até mesmo na Ria de Aveiro, cujo tempo de residência relativamente curto proporciona maior capacidade de renovação da água, evitando assim, a contaminação das massas de água superficiais devido à libertação de contaminantes aquando da decomposição dos jacintos-de-água.

Alguns dos iões aportados à água subterrânea como consequência das interações água-rocha, ou devido às actividades antrópicas que se desenvolvem sobre o aquífero freático, são mantidos em solução nas águas superficiais, enquanto outros iões, mais susceptíveis de precipitar em meio oxidante ou de serem assimilados por determinadas plantas existentes na Pateira de Fermentelos – como o caniço, jacinto-de-água e erva-pinheirinha, conhecidos pelas suas capacidades de acumulação de metais (Vesk & Allaway, 1997, Cardwell *et al.*, 2002, Southichak *et al.*, 2006, Bragato *et al.*, 2006, Maine *et al.*, 2006), são removidos da solução, antes de entrarem nas massas de água superficiais. Dos iões capazes de se manter em solução nas águas superficiais podem destacar-se o sulfato; bicarbonato; cálcio; magnésio; estrôncio, brometo e cloreto. Dos iões mais susceptíveis de serem removidos da solução, pelos mais variados processos biogeoquímicos, podem destacar-se o nitrato; fósforo; potássio, crómio, zinco, ferro e manganês. Mas a acentuada diminuição da concentração em nitrato das águas freáticas para as águas da Pateira de Fermentelos, parece dever-se também à diluição proporcionada pela água da chuva e rio Cértima e, não só a mecanismos de atenuação da concentração em nitratos, como a desnitrificação e assimilação por parte de plantas existentes nesta zona húmida.

Elementos como o zinco, o potássio e o cobre, para além de poderem ser adsorvidos pelos sedimentos, também podem ser assimilados pela vegetação associada à Pateira de Fermentelos, visto serem elementos indispensáveis ao crescimento da vegetação. O crómio, o ferro e o manganês são muito susceptíveis de serem oxidados, precipitando sob a forma de oxihidróxidos nos sedimentos do leito da lagoa.

### **6.3. Implicações das interacções água subterrânea – água superficial na recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro**

A Pateira de Fermentelos e respectiva rede hidrográfica exercem uma influência determinante na piezometria do nível freático do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, originando uma depressão da superfície freática em direcção à lagoa e zonas húmidas adjacentes. Deste modo, a relação hidrodinâmica entre a Pateira de Fermentelos e o sistema aquífero Cretácico de Aveiro, ao favorecer a descarga subterrânea na zona de recarga deste sistema aquífero, contribui por um lado para diminuir a sua recarga efectiva e, por outro lado, se existir, em determinadas zonas e alturas do ano, conexão hidráulica e gradiente favorável entre a lagoa e a parte semi-confinada do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, a água da lagoa poderá infiltrar-se e, deste modo, contribuir para a recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro.

Através das observações de campo e dos resultados obtidos neste estudo, a cota piezométrica do aquífero semi-confinado poderá estar, em algumas zonas, ligeiramente abaixo do nível da lagoa e, caso haja conexão hidráulica entre estas duas massas de água, a lagoa poderá infiltrar para o aquífero profundo.

Para além da descarga do aquífero Cretácico de Aveiro freático para a Pateira de Fermentelos e linhas de água adjacentes, observada a partir da configuração da superfície freática envolvente à lagoa, ocorre na área de estudo recarga do aquífero freático, através da infiltração da água da chuva. Esta recarga será tanto mais eficiente quanto mais aplanada for a superfície freática, pois nestas condições haverá maior propensão para que a água da chuva infiltrada se mantenha no aquífero e possibilite a sua recarga em profundidade.

A recarga efectiva do sistema aquífero Cretácico de Aveiro depende da conexão hidráulica entre a zona freática e a zona semi-confinada do sistema aquífero. No entanto, se a conexão hidráulica entre a parte semi-confinada e a parte freática do sistema aquífero for maior que a conexão hidráulica entre a parte semi-confinada e a parte ocidental do sistema aquífero, a recarga efectiva do sistema aquífero Cretácico de Aveiro estará, não só limitada aos afloramentos cretácicos permeáveis, mas aos afloramentos que não estejam sob influência do efeito drenante da Pateira de Fermentelos.

A intercalação de níveis argilosos e margosos subhorizontais pode comprometer a eficiência da recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, na medida em que dificulta o fluxo subterrâneo de componente vertical descendente, favorecendo o fluxo subterrâneo subhorizontal em direcção aos pontos de descarga. Este fenómeno é bem visível nas zonas onde a Formação Carbonatada aflora ou está próxima da superfície topográfica, originando charcos, linhas de água e nascentes (Barbosa, Com. Oral e observações de campo).

As pressões antrópicas a que está sujeito o aquífero Cretácico de Aveiro freático, na zona da Pateira de Fermentelos, compromete a qualidade da água que se infiltra e recarrega o sistema



aquífero Cretácico de Aveiro. Por outro lado, se ocorrer infiltração da água da lagoa em profundidade, a qualidade da água do sistema aquífero Cretácico de Aveiro estará, também, dependente da evolução da qualidade da água desta zona húmida, cujas pressões antrópicas são muito elevadas e muito diversas.

#### **6.4. Implicações das interações água subterrânea – água superficial na sustentabilidade do ecossistema associado à Pateira de Fermentelos**

O ecossistema associado à Pateira de Fermentelos depende do volume de água armazenado nesta zona húmida e da qualidade dessa água. Sabendo que o sistema aquífero Cretácico de Aveiro transfere água para a Pateira de Fermentelos, interessa identificar os factores que podem influenciar o volume e a qualidade da água transferida entre estas duas massas de água.

As interações hidrodinâmicas água superficial – água subterrânea, contribuem para a manutenção do volume de água armazenado na Pateira de Fermentelos, favorecendo assim, a sustentabilidade do ecossistema associado a esta zona húmida. No entanto, a transferência do aquífero para a lagoa e linhas de água afluentes, parece ser insuficiente para a manutenção da superfície de água livre, durante longos períodos secos. Este fenómeno parece dever-se a causas naturais, como o assoreamento da Pateira de Fermentelos, que, por um lado limita a transferência do aquífero para a lagoa e, por outro lado contribui para a diminuição da área de afloramento do nível freático, diminuindo assim a área da lagoa e, favorecendo o avanço do pântano. O rebaixamento progressivo do nível freático, devido à ocorrência, cada vez mais frequente, de anos secos, também contribui para a diminuição da transferência de água do aquífero para a Pateira de Fermentelos.

Das possíveis causas antrópicas que contribuem para a diminuição da transferência de água do aquífero freático para a Pateira de Fermentelos podem destacar-se as seguintes: a exploração do aquífero freático que influencia directamente o volume de água armazenado no aquífero, passível de ser transferido para a Pateira de Fermentelos; a exploração do aquífero semi-confinado pode favorecer a transferência de água da zona freática para a zona semi-confinada, em detrimento da descarga do aquífero freático para a rede hidrográfica; a impermeabilização de áreas cada vez maiores na zona de afloramento das formações cretácicas permeáveis, limita a recarga do aquífero freático, diminuindo assim o volume de água armazenado pelo aquífero, passível de ser transferido para a Pateira de Fermentelos e, favorece a escorrência superficial para a Pateira de Fermentelos que, aos drenar zonas urbanizadas, poderá transportar maior concentração de contaminantes.

Em termos hidroquímicos, a qualidade da água subterrânea das zonas marginais à Pateira de Fermentelos está visivelmente afectada pela agricultura e, sabendo que essa água é transferida para a Pateira de Fermentelos, a manutenção da qualidade da água desta zona húmida está, parcialmente, dependente da evolução da qualidade da água subterrânea que aflui a esta zona

húmida. No entanto, os resultados obtidos neste trabalho revelam uma acentuada capacidade de diluição e atenuação de contaminantes na Pateira de Fermentelos, mitigando assim os impactos negativos decorrentes da transferência de água subterrânea contaminada, para esta zona húmida.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Pateira de Fermentelos e zonas húmidas adjacentes são um reflexo da interacção entre três massas de água: (1) a água drenada pela bacia do rio Cértima que aflui à Pateira de Fermentelos; (2) o aquífero freático assente nas distintas formações geológicas que são drenadas pela Pateira de Fermentelos; e, (2) o sector oriental do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, que nesta zona parece comportar-se como freático a semi-confinado.

A análise da piezometria das formações aquíferas da zona da Pateira de Fermentelos permitiu verificar que esta e respectiva rede hidrográfica exercem um efeito drenante dos aquíferos freáticos existentes.

As massas de água que afluem à Pateira de Fermentelos sofrem distintas pressões antrópicas que alteram a sua composição química natural. A comparação da composição química das distintas massas de água revelou: (1) uma acentuada capacidade de diluição e atenuação de contaminantes na Pateira de Fermentelos, que favorece a sustentabilidade do ecossistema associado a esta zona húmida; e, (2) uma fraca conexão hidráulica entre a parte freática e a parte semi-confinada do sistema aquífero Cretácico de Aveiro.

Os resultados obtidos ao longo deste estudo permitiram realizar as seguintes conclusões:

(1) A piezometria dos aquíferos freáticos presentes na zona da Pateira de Fermentelos está nitidamente influenciada pela lagoa e respectiva rede hidrográfica, funcionando como elementos drenantes dos aquíferos freáticos.

(2) Os aquíferos freáticos suportados pelas formações triásicas, cretácicas e neogénicas que afloram nas imediações da Pateira de Fermentelos descarregam, ao longo do ano hidrológico, quer através de nascentes que alimentam linhas de água, quer através da transferência lateral (e eventualmente vertical) para a Pateira de Fermentelos, contribuindo, embora de forma limitada, para a manutenção do seu espelho de água e sustentabilidade desta zona húmida.

(3) A dinâmica das águas superficiais é directamente influenciada pela ocorrência, intensidade e frequência das precipitações, observando-se o nível mais elevado das massas de água superficial, no mês mais chuvoso do período húmido. Enquanto a dinâmica do nível freático revela uma inércia maior comparativamente às massas de água superficiais, tendo coincidido a configuração mais elevada do nível freático no mês seguinte ao mês mais chuvoso do período húmido.

(4) As zonas onde há maior amplitude do nível freático parecem relacionar-se com as zonas onde há uma acentuada componente vertical descendente do fluxo subterrâneo. Estas zonas onde

parece existir forte componente descendente do fluxo subterrâneo parecem relacionar-se com as zonas onde há um aumento da inclinação da superfície topográfica.

(5) O nível freático da zona de recarga do sistema aquífero Cretácico de Aveiro parece estar influenciado pelos seguintes factores: nível da Pateira de Fermentelos; entalhamento da rede hidrográfica; heterogeneidade da permeabilidade das formações geológicas; topografia; variação da inclinação das vertentes; conexão hidráulica com o aquífero semi-confinado subjacente e exploração do aquífero freático.

(6) O balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero freático permitiu evidenciar a importante contribuição do rio Cértima para a água armazenada na Pateira de Fermentelos (que representa cerca de 90 % das entradas da lagoa), bem como a importante transferência de água do aquífero freático para a lagoa (representando cerca de 90 % das saídas do aquífero freático). O balanço hídrico do sistema lagoa – aquífero permitiu, também, verificar que a ETR a partir da superfície livre da lagoa supera em cerca de 46 % a precipitação caída sobre a superfície da lagoa.

(7) A composição físico-química da água da Pateira de Fermentelos reflecte, principalmente, a composição da água drenada pela bacia do rio Cértima. A água da Pateira de Fermentelos tem um pH neutro a ligeiramente alcalino; a sua condutividade eléctrica varia, ao longo do ano hidrológico, de 252 a 848  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tendo ocorrido os valores mais elevados em Junho/Julho de 2006; tem fácies bicarbonatada cálcica, passando a mista após a confluência com a ribeira do Pano; tem elevada concentração em sulfatos e bicarbonatos e uma concentração considerável em ferro, cuja presença parece ser um reflexo da mineralogia dos grés triásicos e dos calcários jurássicos que afloram na bacia do rio Cértima e; apresenta, ao longo da maior parte do ano hidrológico, baixa concentração em nitrato, nitrito e amónio.

(8) A composição físico-química do aquífero freático constituído pelas formações cretácicas varia consoante a intensidade das pressões antrópicas a que está sujeito. Nas zonas onde parece não existir forte pressão antrópica, o aquífero freático apresenta água com pH ligeiramente ácido (pH 5); a sua condutividade eléctrica varia, ao longo do ano hidrológico, de 62 a 171  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tendo ocorrido os valores mais elevados em Fevereiro/Março de 2006; tem fácies cloretada sódica; apresenta uma concentração em nitrato relativamente baixa, variando ao longo do ano hidrológico, de 2 a 13 mg/L e a sua concentração em nitrito e amónio está, geralmente abaixo de 0.1 e 0.2 mg/L, respectivamente. Nas zonas onde parece existir forte pressão antrópica e essencialmente agro-pecuária, o aquífero freático apresenta água de pH neutro; a sua condutividade eléctrica varia, ao longo do ano hidrológico, de 541 a 791  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tendo ocorrido os valores mais elevados no Verão; tem uma fácies hidroquímica cloretada cálcica; a sua concentração em nitratos varia de 78 a 133 mg/L e a sua concentração em nitrito e amónio é semelhante àquela encontrada nas zonas afastadas de influência antrópica.

(9) O aumento da condutividade eléctrica das águas superficiais parece estar relacionado com o efeito da temperatura na capacidade solvente da água e com o efeito concentrador da

evaporação e escassez de precipitações. O aumento da condutividade eléctrica da água freática, nas zonas afastadas de pressões antrópicas parece relacionar-se com o efeito lixiviante da água da chuva durante a época húmida. Enquanto nas zonas onde o aquífero freático sofre diversas pressões antrópicas, o aumento da condutividade eléctrica parece relacionar-se com o efeito concentrador das temperaturas elevadas e escassez de precipitações que caracterizam o Verão.

(10) O efeito lixiviante das primeiras precipitações após longos períodos secos parece ser capaz de mobilizar contaminantes, como o nitrato, que outrora haviam ficado retidos na zona não saturada e concentrados na zona saturada do aquífero freático, transportando esses contaminantes para as águas superficiais, cuja qualidade fica visivelmente deteriorada durante as primeiras precipitações. O aquífero freático, localizado nas zonas afastadas das diversas pressões antrópicas, também parece sofrer um enriquecimento em nitrato durante as primeiras precipitações. Em contrapartida, o aquífero freático, nas zonas onde sofre diversas pressões antrópicas, parece ser favorecido por essa acção lixiviante das primeiras chuvadas, apresentando uma melhoria relativa da qualidade da sua água, imediatamente após as primeiras precipitações.

(11) As diversas pressões antrópicas, das quais se destacam a agricultura, as perdas de águas residuais domésticas e pecuárias e as actividades cerâmicas e metalúrgicas que se desenvolvem sobre os aquíferos freáticos e ao longo da bacia do rio Cértima afectam a qualidade da água que aflui à Pateira de Fermentelos, comprometendo a sustentabilidade do ecossistema associado e, contribuindo para a eutrofização da lagoa e avanço do pântano.

(12) Apesar da evidente deterioração das águas que afluem à Pateira de Fermentelos, esta parece revelar uma acentuada capacidade de diluição e atenuação de contaminantes, visto apresentar, ao longo da maior parte do ano, uma água relativamente oligotrófica. Os resultados obtidos para a estimativa da capacidade de diluição e atenuação de contaminantes da lagoa parecem estar influenciados pelo efeito de concentração de iões na lagoa devido à elevada taxa de evaporação que esta massa de água superficial sofre. Por outro lado, o efeito lixiviante das primeiras chuvas, que se seguem a longos períodos secos é capaz de se sobrepor aos efeitos de diluição e atenuação de contaminantes na Pateira de Fermentelos, principalmente, próximo das margens, onde a concentração em nitrato pode superar, nessas alturas, a concentração em nitrato do aquífero freático contaminado.

(13) Apesar de os afloramentos cretácicos permeáveis da zona da Pateira de Fermentelos constituírem a área topograficamente mais elevada do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, onde pode ocorrer a recarga deste sistema aquífero, as características geológicas, topográficas, hidrogeológicas e hidrológicas locais favorecem a descarga de grande parte da água subterrânea freática para a Pateira de Fermentelos e linhas de água afluentes.

(14) O nível piezométrico do sector oriental e semi-confinado do sistema aquífero Cretácico de Aveiro parece estar influenciado pela configuração da superfície freática do aquífero sobrejacente, de tal forma que a divisória de águas subterrâneas freáticas, que coincide

aproximadamente com a divisória de águas superficiais, parece impor uma divisória de águas subterrâneas profundas, já identificada por Marques da Silva (1990), na construção da superfície piezométrica não influenciada pela exploração intensiva do sistema aquífero Cretácico de Aveiro, anterior a 1963. Estes factos apontam para uma estreita interacção entre as três massas de água: água superficial; aquífero freático e aquífero semi-confinado, na zona oriental do sistema aquífero Cretácico de Aveiro. Assim, da infiltração que ocorre na limitada área de recarga deste sistema aquífero, a parte freática sob influência da Pateira de Fermentelos sofre descarga para a respectiva rede hidrográfica, limitando a recarga efectiva do sistema aquífero Cretácico de Aveiro.

(15) A manutenção do espelho de água da Pateira de Fermentelos e sustentabilidade do ecossistema associado parece depender sobretudo do caudal de água da bacia hidrográfica do rio Cértima que aflui a esta zona húmida. Os aquíferos freáticos existentes nas vertentes que cercam a Pateira de Fermentelos contribuem, a muito menor escala, para a água existente nesta zona húmida. O aquífero semi-confinado parece não transferir água para a lagoa e, pelo contrário, esta poderá perder água para o aquífero semi-confinado.

(16) Se a relação entre a Pateira de Fermentelos e o aquífero Cretácico de Aveiro semi-confinado, referida no ponto anterior existir e, se a conexão hidráulica entre a zona confinada e intensivamente explorada do sistema aquífero Cretácico de Aveiro for capaz de influenciar o nível piezométrico da parte oriental e semi-confinada adjacente à Pateira de Fermentelos, a exploração intensiva do sistema aquífero Cretácico de Aveiro poderá comprometer a sustentabilidade desta zona húmida.

Durante as campanhas de campo realizadas no âmbito deste estudo e, através dos resultados obtidos identificaram-se alguns aspectos que merecem maior detalhe e que, em virtude do tempo disponível para a realização deste trabalho e das prioridades definidas para o presente estudo, foram deixados em aberto para que, em futuros estudos realizados na zona de Pateira de Fermentelos, possam ser estudados. Assim, expõem-se seguidamente algumas recomendações para os futuros trabalhos que venham a ser desenvolvidos na zona da Pateira de Fermentelos:

(1) As diferenças por vezes centimétricas entre o nível da lagoa e o nível freático, na zona ripícola, obrigam a uma monitorização dos níveis com maior detalhe e maior periodicidade do que o método adoptado no presente estudo. Assim, sugere-se que, em futuros estudos desenvolvidos sobre a problemática das relações água subterrânea – água superficial na Pateira de Fermentelos, se realize a monitorização dos níveis da lagoa e do aquífero freático, com pontos de observação espaçados entre si de poucos metros e ao longo de linhas de fluxo, de forma a averiguar a dinâmica, de pequena escala, do nível freático em torno da lagoa.

(2) A construção de piezómetros escalonados, que permitam a amostragem do nível da lagoa, do nível freático e do nível piezométrico do aquífero semi-confinado, das formações geológicas subjacentes à lagoa, permitirá o estudo rigoroso das interacções hidrodinâmicas entre a lagoa, o aquífero freático e o aquífero semi-confinado.

(3) As características físico-químicas da zona hiporreica da Pateira de Fermentelos e zonas húmidas adjacentes estão, provavelmente, a desempenhar um papel crucial na atenuação dos efeitos de contaminação a partir das linhas de água poluídas e das zonas onde a qualidade dos aquíferos freáticos está degradada pelas actividades agro-pecuárias, urbanas e industriais. Por este motivo crê-se fundamental realizar uma caracterização exaustiva dos sedimentos, sólidos em suspensão e plantas associados a esta importante zona húmida.

(4) Ao longo das campanhas de campo verificou-se, aquando da navegação na lagoa, uma heterogeneidade granulométrica acentuada nos sedimentos do leito da Pateira de Fermentelos, que poderão desempenhar um papel importante na conexão hidráulica entre o sistema aquífero Cretácico de Aveiro, os sedimentos triásicos e a lagoa. A caracterização e mapeamento das unidades com distinta granulometria permitirá aferir as zonas onde a transferência entre a água subterrânea e a água superficial ocorre preferencialmente.

(5) As operações de manutenção do fundo da Pateira de Fermentelos e das margens dos dois canais que possibilitam o escoamento da lagoa para o rio Águeda, realizadas periodicamente pelo INAG merecem o acompanhamento adequado, visto possibilitarem o acesso, muitas vezes difícil, aos sedimentos do fundo da lagoa e linhas de água e, por outro lado a monitorização da qualidade da água durante estas operações permite averiguar o impacto da mobilização de sedimentos na qualidade da água, bem como a velocidade de recuperação da sua qualidade.

(6) A informação obtida junto dos conterrâneos da Pateira de Fermentelos acerca da existência de “olhos de água” submersos é muito importante, na medida em que revela, a ocorrência de descarga do aquífero para a lagoa. Caracterizar quimicamente e cartografar novos “olhos de água”, permitirá confirmar a existência daqueles mencionados neste estudo e inventariar os locais de descarga directa preferencial do aquífero freático.

## CAPÍTULO 8

### BIBLIOGRAFIA

- Adriano, D. (2001). *Trace elements in terrestrial environments – biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals* (2ª ed.). New York: Springer-Verlag.
- Ahmad, I, Pacheco, M & Santos, M.A. (2006). *Anguilla anguilla* L. oxidative stress biomarkers: Na in situ study of freshwater wetland ecosystem (Pateira de Fermentelos, Portugal). *Chemosphere*, 65, 952-965.
- Almeida, A. (2006). *Avaliação da qualidade da água na Pateira de Fermentelos – um caso de estudo na Área de Projecto*. Tese de mestrado não publicada. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Alves, T.M., Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. & Monteiro, J.H. (2002). Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (offshore Portugal). *Marine and petroleum Geology*, 19, 727-754.
- Anadón, P., Cabrera, L. & Roca, E. (1989). Contexto estrutural y paleogeográfico de los sistemas cenozoicos de España. *Acta Geológica Hispánica*, 24, 167-184.
- Andrade, M. G. (1922). *A Odisseia da Senhora das Febres de Perrães*. Instituto Etnológico da Beira.
- Associação Comercial e Industrial da Bairrada – ACIB. (2004). *Bairrada industrial – Pacto para o futuro*. Associação Comercial e Industrial da Bairrada.
- Barbosa, B. (1981). Carta Geológica de Portugal – Folha 16-C (Vagos) e respectiva notícia explicativa. Serviços Geológicos de Portugal.
- Barra, A.J.P. (1998). *Cartografia geológica dos depósitos Mesoceno-zóicos do sector Pateira de Fermentelos – Anadia (Aveiro): dados preliminares*. Relatório interno. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Porto.
- Berner, E.K. & Berner, R.A. (1996). *Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles*. New Jersey: Prentice Hall.
- Borrego, C. Moreira, M.H., Fernandes, C.I. & Pinho, R.M. (1995). *Estudo de avaliação da vulnerabilidade da capacidade de recepção de águas e zonas costeiras em Portugal. Recursos naturais da zona costeira e seus habitats. Ria de Aveiro e Pateira de Fermentelos*. IDAD/U.A. Aveiro.



- Bragato, C., Brix, H. & Malagoli, M. (2006). Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of Venice lagoon watershed. *Environmental Pollution*, 144, 967-975.
- Calado, A., Freitas, A. & Veloso, V. (1991). Algas da Pateira de Fermentelos numa situação de Inverno. *Rev. Biol. U. Aveiro*, 4, 55-71.
- Campbell, P. (1995). *Metal Speciation and bioavailability in aquatic systems*. New York: Wiley.
- Cardwell, A., Hawker, D. & Greenway, M. (2002). Metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48, 653-663.
- Carreira, P. (1998). *Paleoáguas de Aveiro*. Dissertação de doutoramento não publicada. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- CCDR-Centro – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região Centro. (2005). Edital de 8 de Agosto de 2005, segundo o artigo 12º – ponto 2 – alínea b) do Decreto-Lei nº 46/94 de 22 de Fevereiro.
- Cerqueira, M.A., Vieira, F.N., Ferreira, R.V. & Silva, J.F. (2004). The water quality in the Cértima river basin (Central Portugal). *Environmental monitoring and assessment*, 111, 297-306.
- Condeso de Melo, M.T. (2002). *Modelo matemático de fluxo e de transporte de massa do sistema multiaquífero Cretácico de Aveiro*. Dissertação de doutoramento não publicada. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Condeso de Melo, M.T. et al. (2003). *Natural Baseline Quality Of European Groundwaters: A Basis For Aquifer Management – BaSeLiNe*. PT 1 The Aveiro Cretaceous Aquifer.
- Condeso de Melo, M.T., Carreira Paquete, P. & Marques da Silva, M.A. (2001). Evolution of the Aveiro Cretaceous aquifer (NW Portugal) during the Late Pleistocene and present day: evidence from chemical and isotopic data. In Edmunds, W.M. & Milne, C.J. (eds). *Palaeowaters in Coastal Europe: evolution of groundwater since the Late Pleistocene*. Geological Society, London, *Special Publications*, 189, 139-154.
- Cunha, P.P. & Reis, R.P. (1995). Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal). *Cretaceous Research*, 16, 155-170.
- Custodio, E. & Llamas, M.R. (2001). *Hidrología Subterránea*. Volumes I e II. (2ª ed.). Ómega. Barcelona.
- DeBusk, T.A., Peterson, J.E. & Reddy, K.R. (1995). Use of aquatic terrestrial plants for removing phosphorus from dairy wastewaters. *Ecological Engineering*, 5, 371-390.

- Decreto-lei nº 236/98 de 1 de Agosto. *Diário da República nº 176/98 – Série I-A*. Ministério do Ambiente. Lisboa.
- Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro. (2006). *Plano Municipal da Água – Diagnóstico*. Relatório final. Aveiro.
- Departement of Ecology, Washington State, (2006). Consultado em <http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/weeds/aqua010.html>, em 12 de Maio de 2006.
- Dinis, P.A. (2004). *Evolução pliocénica e quaternária do Vale do Cértima*. Dissertação de Doutoramento não publicada. Universidade de Coimbra. Coimbra.
- EPA – Environmental Protection Agency (1982). Handbook of water and wastewater preservation (EPA/604/4-82/029). United States Environmental Agency.
- Gambrell, R. (1994). Trace and toxic metals in wetlands – a review. *Environmental Quality*, 23, 883-891.
- Garcia Pereira, H. G. & Sousa, A. J. (1988-2001). *Análise de dados para o tratamento de quadros multidimensionais*. Documento não publicado de apoio às aulas leccionadas no Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Gilliam, J.W. (1994). Riparian Wetlands and Water Quality. *Environmental Quality*, 23, 896-900.
- Gjerde, D.T. & Fritz, J.S. (1987). Ion Chromatography (2ª Ed.). New York: Hüthig.
- Greenfacts. (2006). *Greenfacts Glossary*. Consultado em 19 de Maio de 2006, em <http://www.greenfacts.org/glossary/ghi/genotoxic-genotoxicity.htm>.
- Hanson, G.C., Groffman, P.M. & Gold, A.J. (1994). Denitrification in riparian wetlands receiving high and low groundwater nitrate inputs. *Environmental Quality*, 5 (vol. 23), 917-922.
- Heng., Z., Ong, T. & Nath, J. (1995). In vitro studies on the genotoxicity of 2,4-dichloro-6-nitrophenol ammonium (DCNPA) and its major metabolite. *Genetic Toxicology. Mutation Research*, 368, 149-155.
- IA – Instituto do Ambiente. (2005). *Corine Land Cover 2000*. Consultado em 3 de Novembro de 2005.
- INAG – Instituto Nacional da Água. (1999). *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Consultado em 2 de Setembro de 2005 em [http://snirh.pt/snirh.php?main\\_id=4&item=4&objlink=&objrede=](http://snirh.pt/snirh.php?main_id=4&item=4&objlink=&objrede=).
- INE – Instituto Nacional de Estatística. (2003). *Abastecimento de água por concelho*. Consultado em 6 de Outubro de 2005, em <https://www.ine.pt>.

- Ivancic, I. & Degobbis, D. (1984). An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by indophenol blue method. *Water Resources*, 9 (vol.18), 1143-1147.
- Kullberg, M.C., Kullberg, J.C. & Terrinha, P. (2000). Tectónica da região da Arrábida. Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida, *Mem. Geociências, Museu Nac. Hist. Nat. Univ. Lisboa*, 2, 35-84.
- Langmuir, D. (1997). *Aqueous environmental geochemistry*. New Jersey: Prentice Hall.
- Lencastre, A. & Franco, F.M. (1984). *Lições de hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa.
- Likens, G.E. & Bormann, F.H. (1995). *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. New York: Springer-Verlag.
- Maine, M.A., Suñe, N., Hadad, H., Sánchez, G. & Bonetto, C. (2006). Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgic industry. *Ecological Engineering*, 26, 341-347.
- Maria, V.L., Pacheco, M. & Santos, M.A. (2006). *Anguilla anguilla* L. genotoxic responses after in situ exposure to freshwater wetland (Pateira de Fermentelos, Portugal). *Environment International*, 32, 510-515.
- Marques da Silva, M.A. (1990). *Hidrogeología del sistema multiacuífero Cretácico del Bajo Vouga – Aveiro (Portugal)*. Dissertação de doutoramento não publicada. Universidade de Barcelona. Barcelona.
- Martín Arnáiz, M. (2001) Componentes primários del ciclo hidrológico. In Custodio & Llamas. *Hidrología Subterránea*, Ediciones Omega, Séc. 6, Barcelona, pp. 238-349.
- Montenat, C., Guéry, F., Jamet, M. & Berthou, P.Y. (1988). Mesozoic evolution of the Lusitanian basin: comparison with the adjacent margin. In Boillot, G. & Winterer, E.L. *et al.*, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 130, 757-775.
- Morais, A. (1922). *A Mata de Perrães – Um plano de Fomento do século XVI*. Instituto Etnológico da Beira.
- Oliveira, T. (1997). *Capacidade de troca catiónica no Cretácico de Aveiro e sua influência no quimismo da água*. Tese de mestrado não publicada. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Pawels, H., Legendre, O. & Foucher, J.C. (1998). High-rate denitrification from several electron donors in a schist aquifer. *Water-Rock Interaction*, 173-258. Rotterdam: Aerehart & Hultson.
- Peixinho de Cristo, F. (1985). *Estudo hidrogeológico do sistema aquífero do Baixo Vouga*. Dir. Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos. Lisboa.

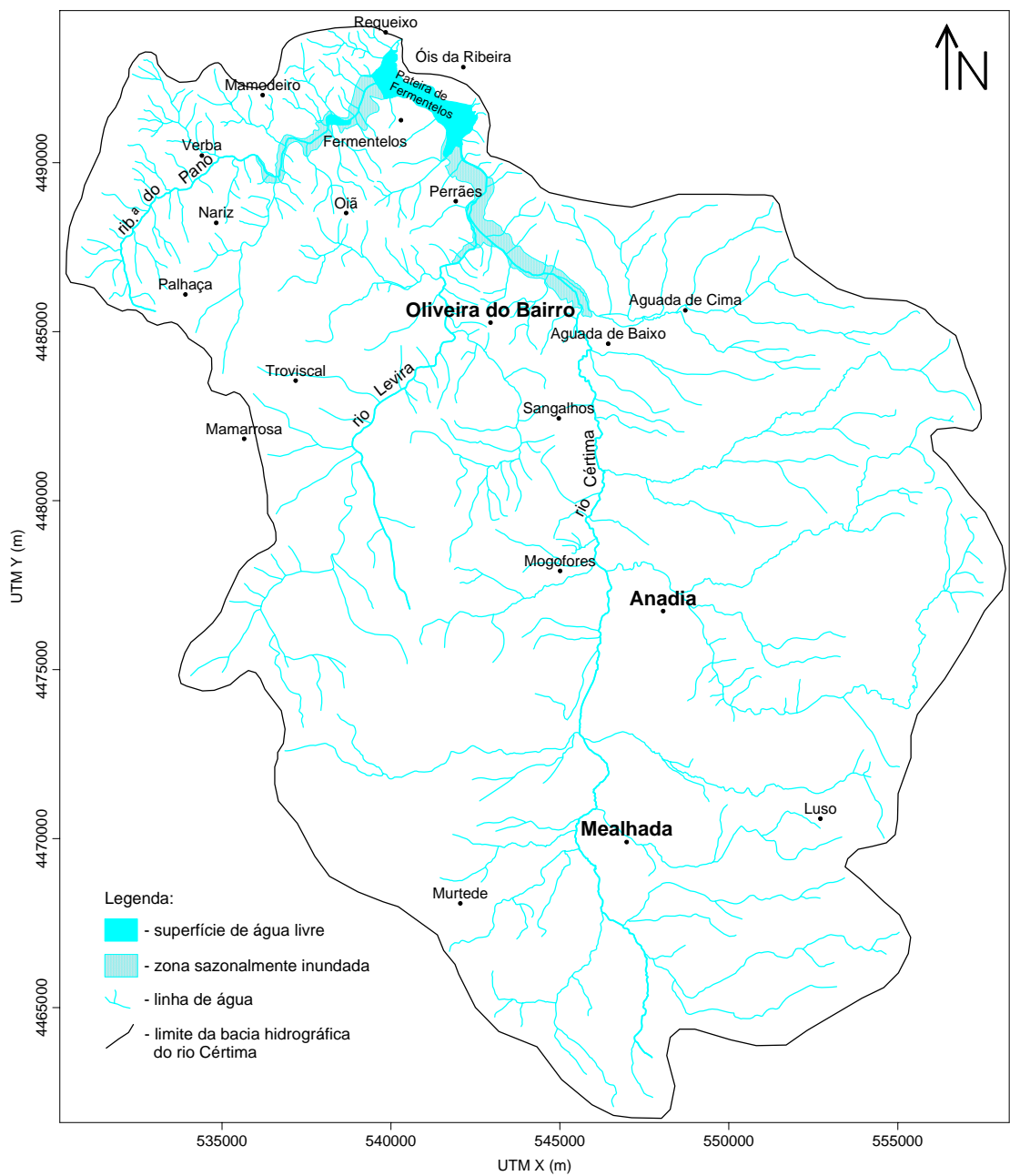
- Pfeifer, H., Derron, M., Rey, D., Schlegel, C., Atteia, O., Dalla, R., Dubois, J. & Mandia, Y. (2000). Natural trace element input to soil-sediment-water-plant system: examples of background and contaminated situation in Switzerland, Eastern France and Northern Italy. *Trace elements – their distribution and effects in the environment*. The Netherlands: Elsevier Science, 33-86.
- Pinho, P.M.N.C., Luís, A.M.S., Andersen, M.T.L.M.B., Nogueira, F.M.M. & Coelho, C.O.A. (1988). *Estudo para o ordenamento da área envolvente da Pateira de Fermentelos*. Serviço Nacional de Parques. Volumes I, II e III.
- Quercus. (2006). *A Ria de Aveiro*. Consultado em 7 de Outubro de 2006, em <http://aveiro.quercus.pt/>.
- Ramsar. (2005). *Ramsar Convention on Wetlands*. Consultado em 2 de Novembro de 2005, em: <http://www.ramsar.org>.
- Rasmussen, E.S., Lomholt, S., Andresen, C., Vejrbæk, O.V. (1998). Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics*, 300, 199-225.
- Reddy, K.R., Diaz, O.A., Scinto, L.J. & Agami, M. (1995). Phosphorus dynamics in selected wetlands and streams of the lake Okeechobee Basin. *Ecological Engineering*, 5, 183-207.
- Reis, A. (2000). *Condicionantes hidrogeológicas e antrópicas na mobilização de elementos poluentes: um estudo nos rios Águeda e Cértima (Portugal Central)*. Tese de mestrado não publicada. Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G. *et al.* (1979). *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Rocha, F. & Gomes, C. (1995). Palaeoenvironment of the Aveiro region of Portugal during the Cretaceous, based on clay mineralogy. *Cretaceous Research*, 16, 187-194.
- Rocha, F.J.F.T. (1993). *Argilas aplicadas a estudos litoestratigráficos e paleoambientais na bacia sedimentar de Aveiro*. Dissertação de doutoramento não publicada. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Saraiva, M.P.S, Barradas, J.J.M. & Marques da Silva, M. A. (1982). *Aquífero Cretácico de Aveiro: subsídios para a sua caracterização hidrogeológica*. III Simpósio de Hidrogeologia, 719-728.
- Schlesinger, W. (1997). *Biogeochemistry - an analysis of global change*. San Diego, California: Elsevier Science.
- SIMRIA – Saneamento Integrado dos Municípios da Ria. (2006). *Perguntas frequentes*.

- Consultado em 3 de Abril de 2006, em: <http://www.simria.pt/faq/faq.php?id=32#31>.
- Sinkala, T., Mwase, E.T. & Mwala, M. (2002). Control of aquatic weeds through pollutant reduction and weed utilization: a weed management approach in the lower Kafue river of Zambia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27, 983-991.
- Soares de Almeida, L. (1979). *Bacia do Vouga – curvas de vazão*. Ministério de Habitação e Obras Públicas. Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos. Direcção dos Serviços de Hidrologia.
- Solorzano, L. (1986). Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 799-801.
- Southichak, B., Kazunori, N., Nomura, M., Chiba, Nobuo & Nishimura, O. (2006). *Phragmites australis*: A novel biosorbent for the removal of heavy metals from aqueous solution. *Water research*, 40, 2295-2302.
- Teixeira, C., Zbyszewski, G. (1976). *Carta Geológica de Portugal – Folha 16-A (Aveiro) e respectiva notícia explicativa*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Thurman, E. (1985). *Organic geochemistry of natural waters*. Boston: Kluwer.
- Todorovics, C., Garay, T.M. & Bratek, Z. (2005). The use of the reed (*Phragmites australis*) in wastewater treatment on constructed wetlands. *Acta Biologica Szegediensis*, vol. 49 (1-2), 81-83.
- Vegas, R. & Banda, E. (1982). Tectonic framework and alpine evolution of the Iberian Peninsula. *Earth Evolution Sciences*, 4, 320-342.
- Vesk P.A. & Allaway, W.G. (1997). Spatial variation of copper and lead concentrations of water hyacinth plants in a wetland receiving urban run-off. *Aquatic Botany*, 59, 33-44.
- Wilson, R.C.L., Hiscott, R.N., Willis, M.G. & Gradstein, F.M. (1989). The Lusitanian basin of west-central Portugal; Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins (eds Tankard, A.J. & Balkwill, H.). *American Association of Petroleum Geologists*, 46, 341-361.
- Winter, T.C. (1999). Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, 7, 28-45.
- Zbyszewski, G., Alves, A. M. & Chaves, J.B. (1972). *Contribuição de algumas sondagens de pesquisa e captação de água para o conhecimento hidrogeológico da região de Aveiro*. I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica; Tomo II – Secção 3. Lisboa.

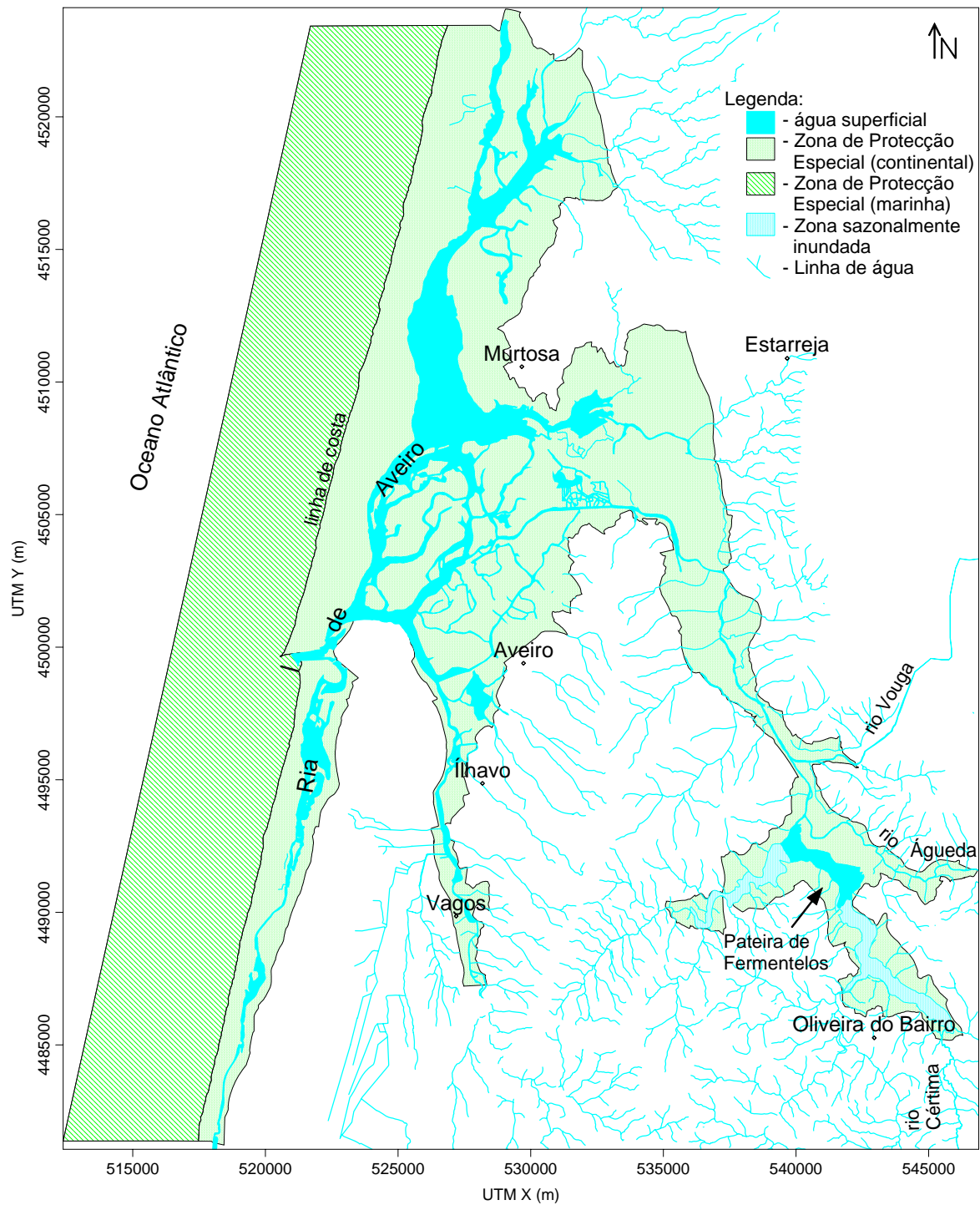
# ANEXO A

## MAPAS

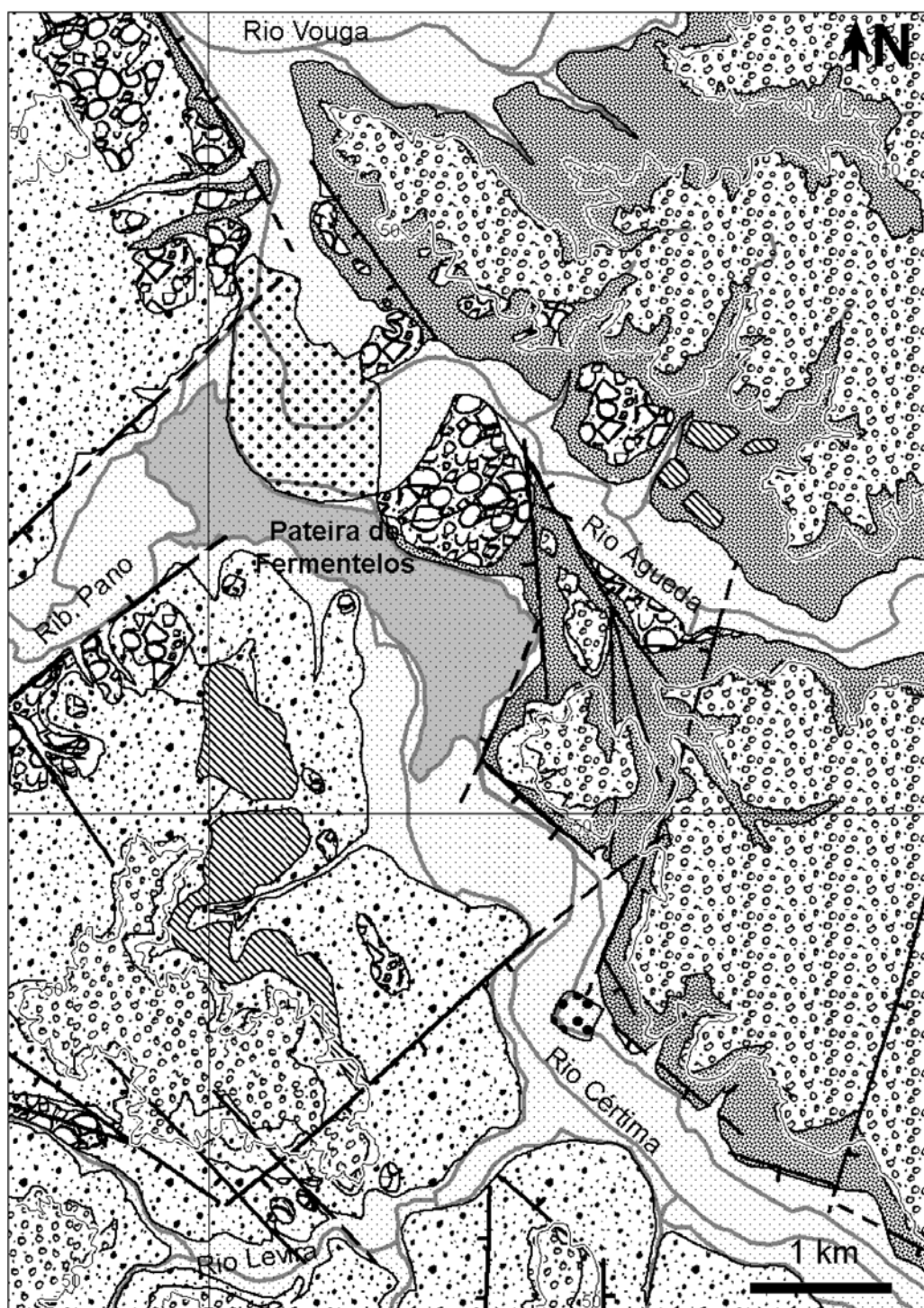
### A.1. Bacia hidrográfica do rio Cértima e respectiva toponímia



## A.2. Mapa da Zona de Protecção especial da Ria de Aveiro



### A.3. Mapa tectónico da Pateira de Fermentelos (Dinis, 2004)

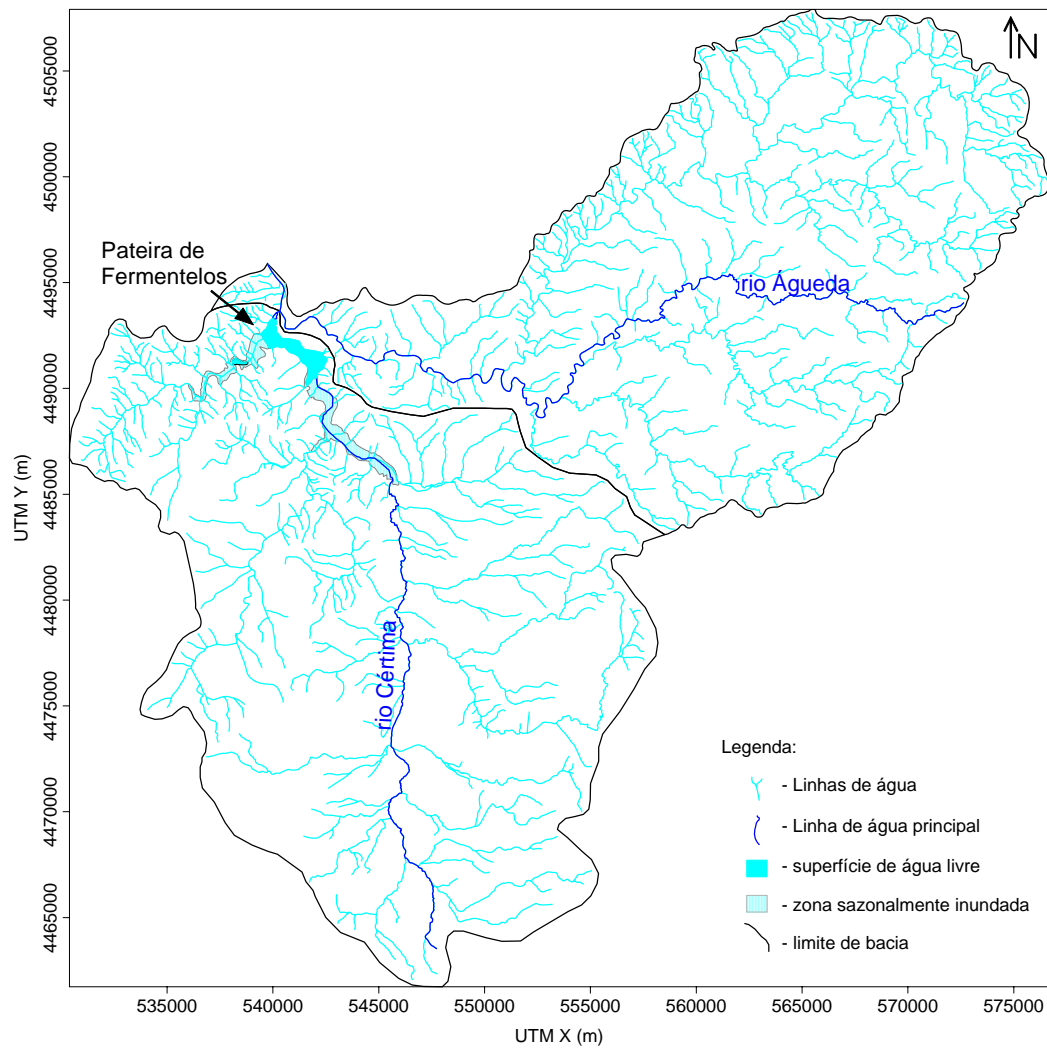


Legenda:

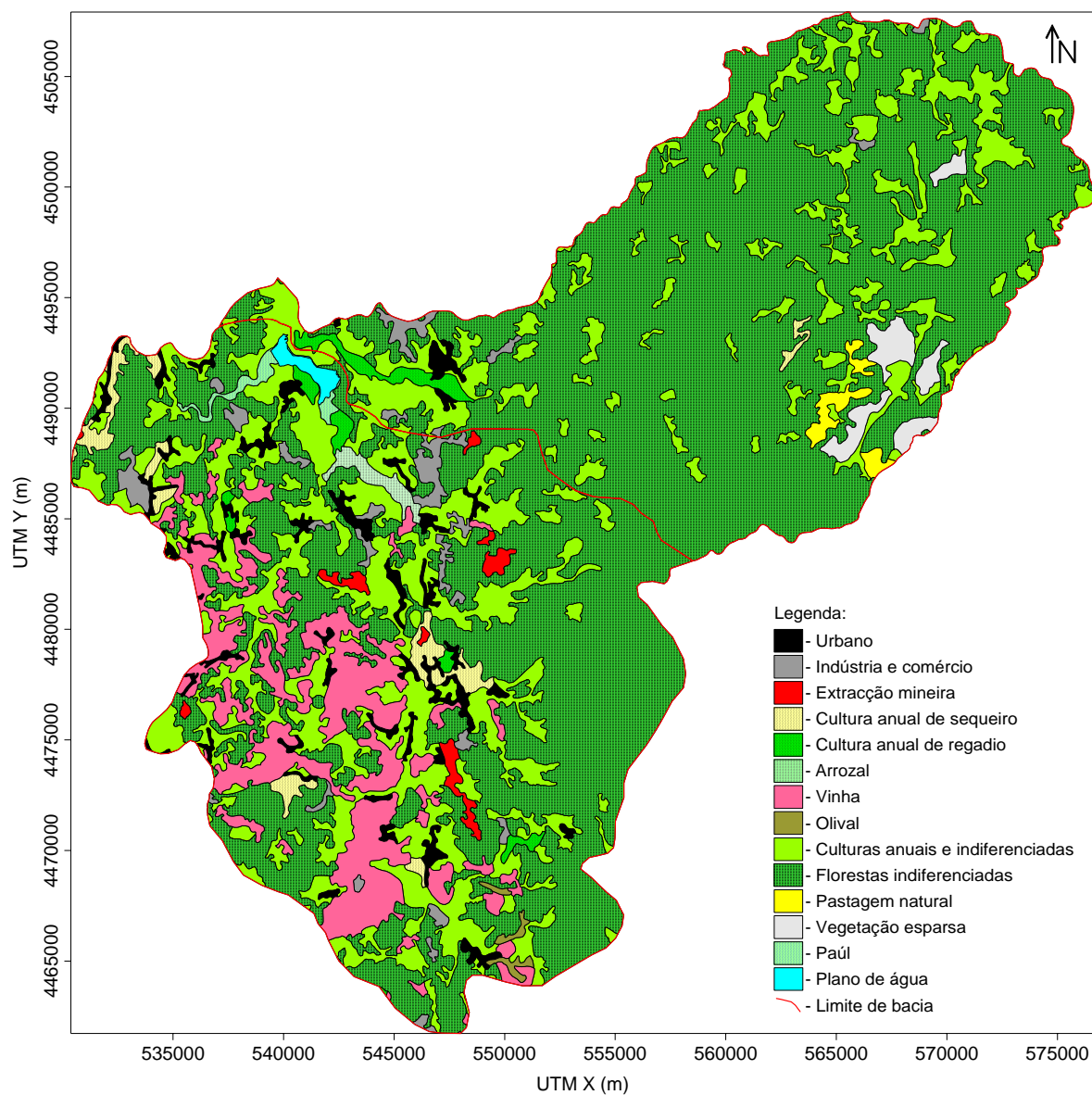
- |  |                               |                          |
|--|-------------------------------|--------------------------|
| - Cone de talude                               | - Cretácico                   | - Hidrografia            |
| - Delta do Águeda                              | - Triásico                    | - Curva de nível de 50 m |
| - Aluvião                                      | - Rechã                       |                          |
| - Terraço                                      | - Contacto geológico          |                          |
| - Plio-quaternário anterior ao entalhe fluvial | - Falha normal / falha oculta |                          |



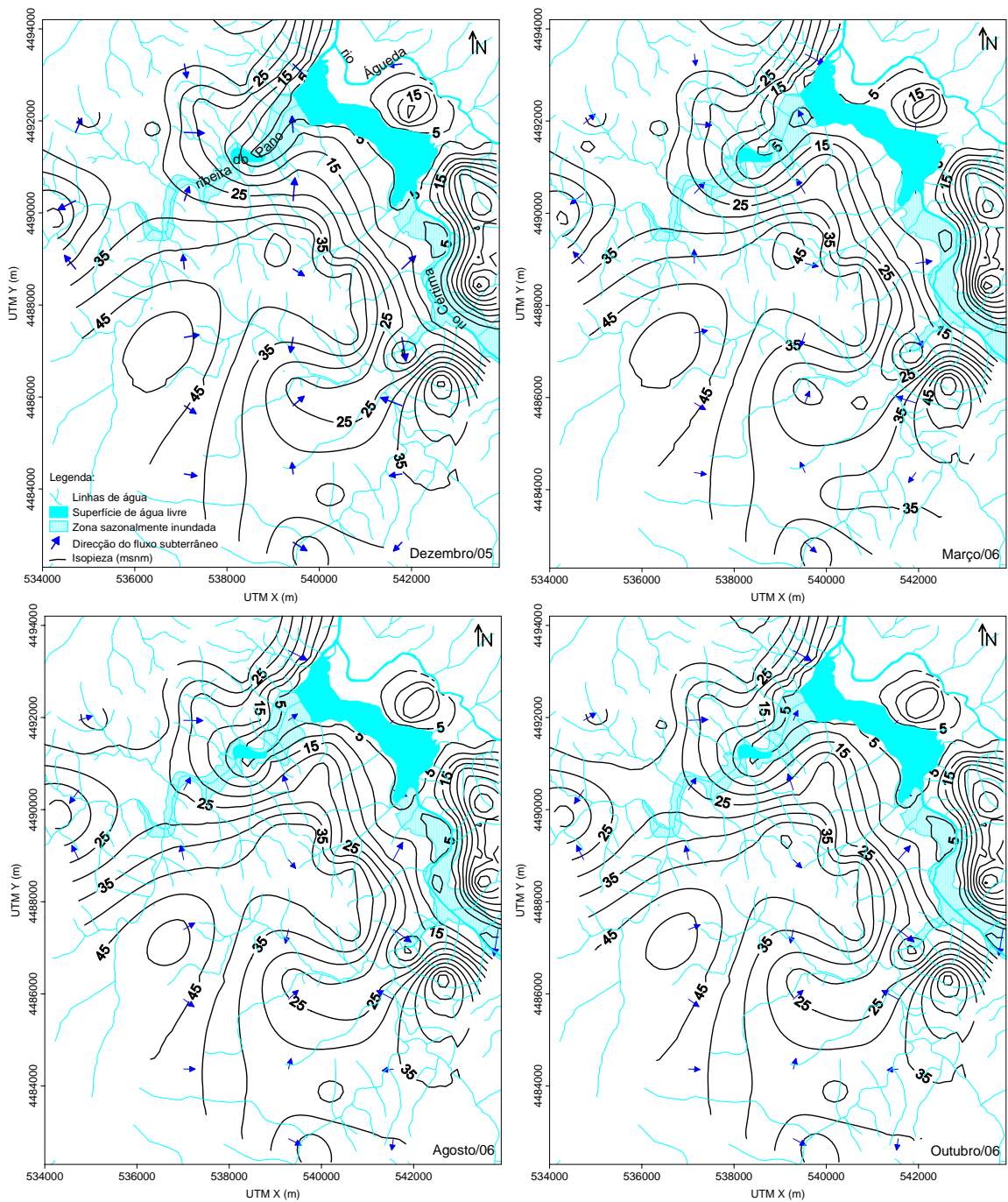
#### A.4. Bacias hidrográficas dos rios Cértima e Águeda



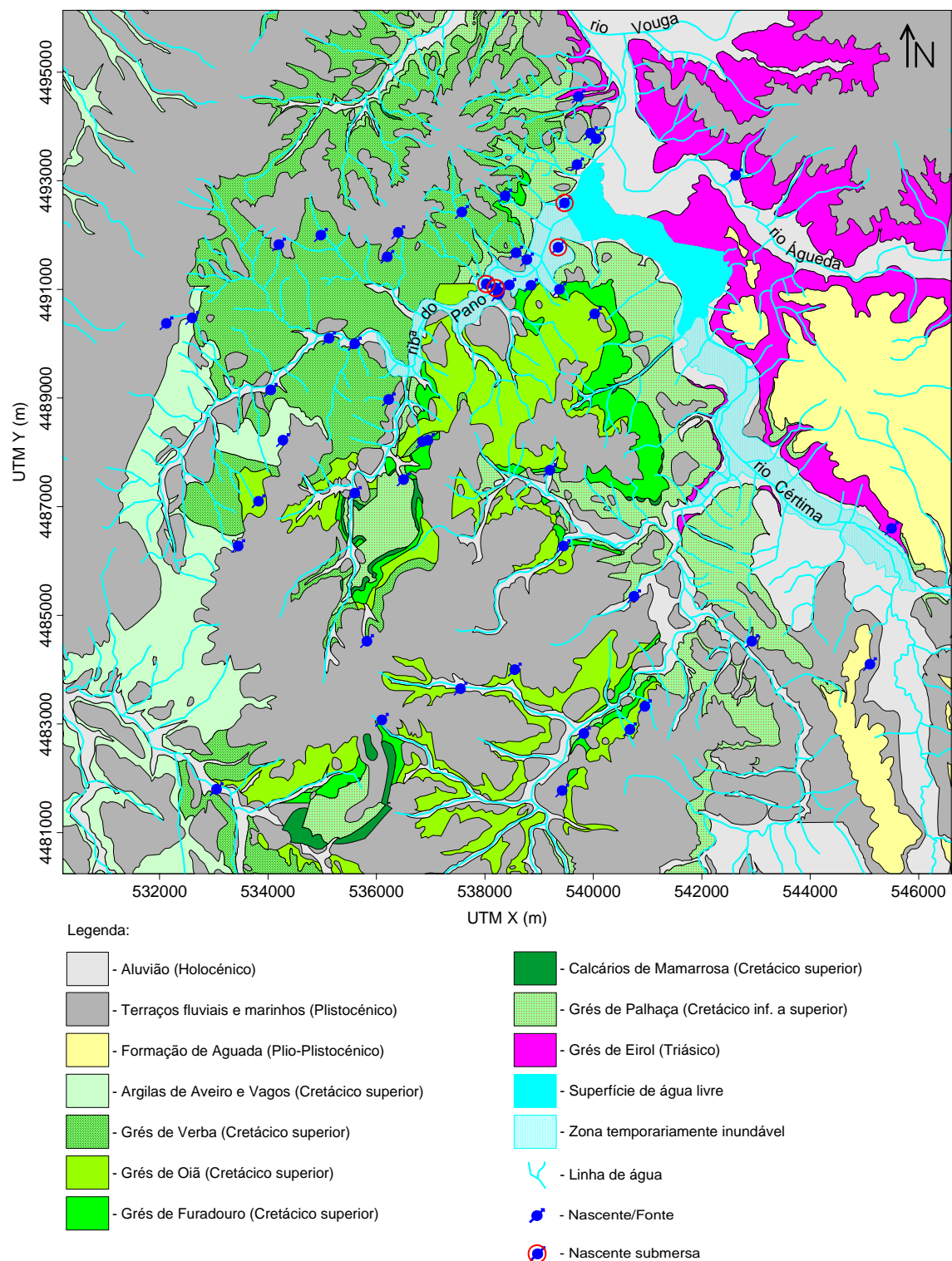
### A.5. Uso do solo nas sub-bacias do rio Cértima e do rio Águeda



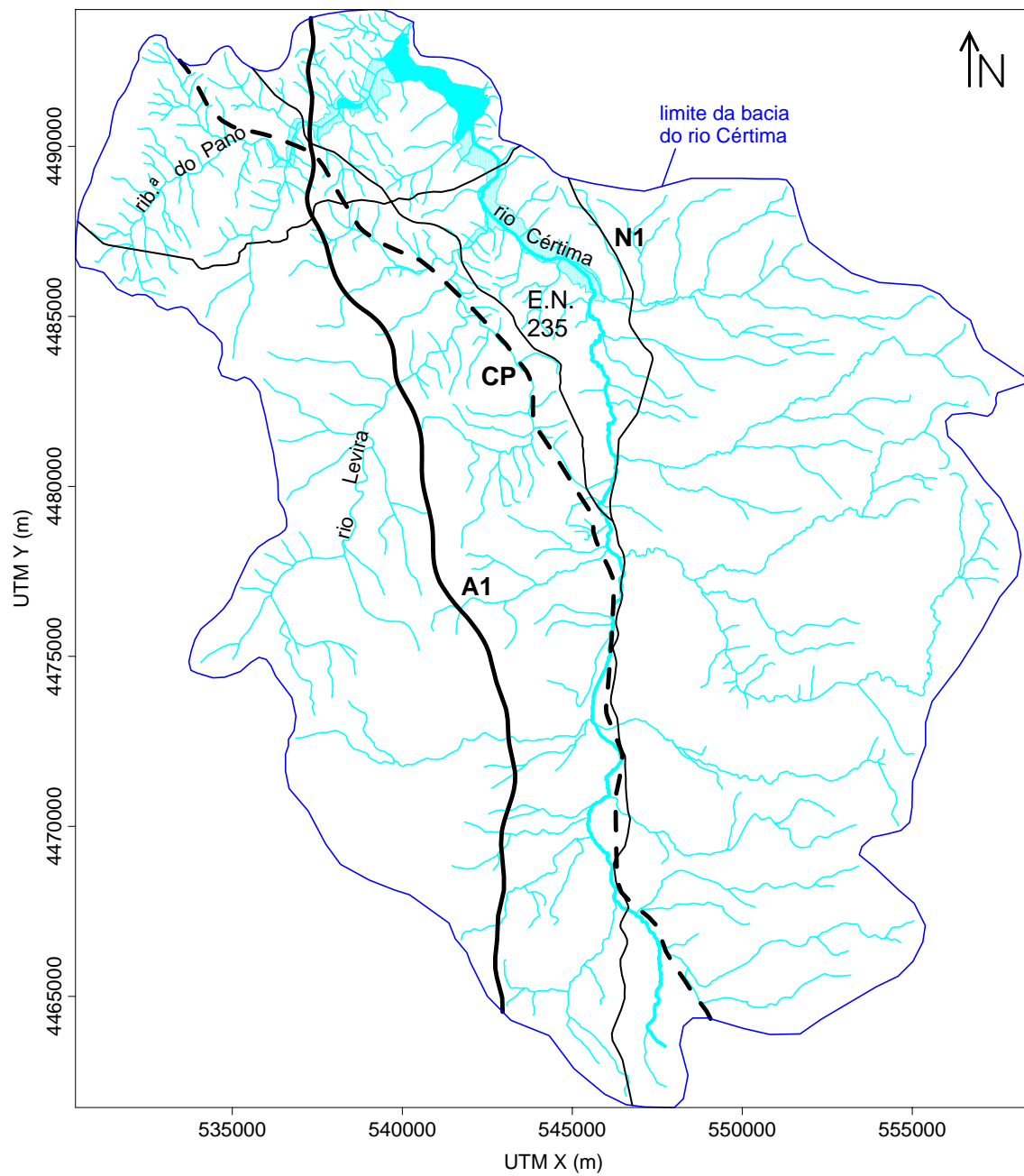
## A.6. Mapas piezométricos em quatro etapas do ano hidrológico



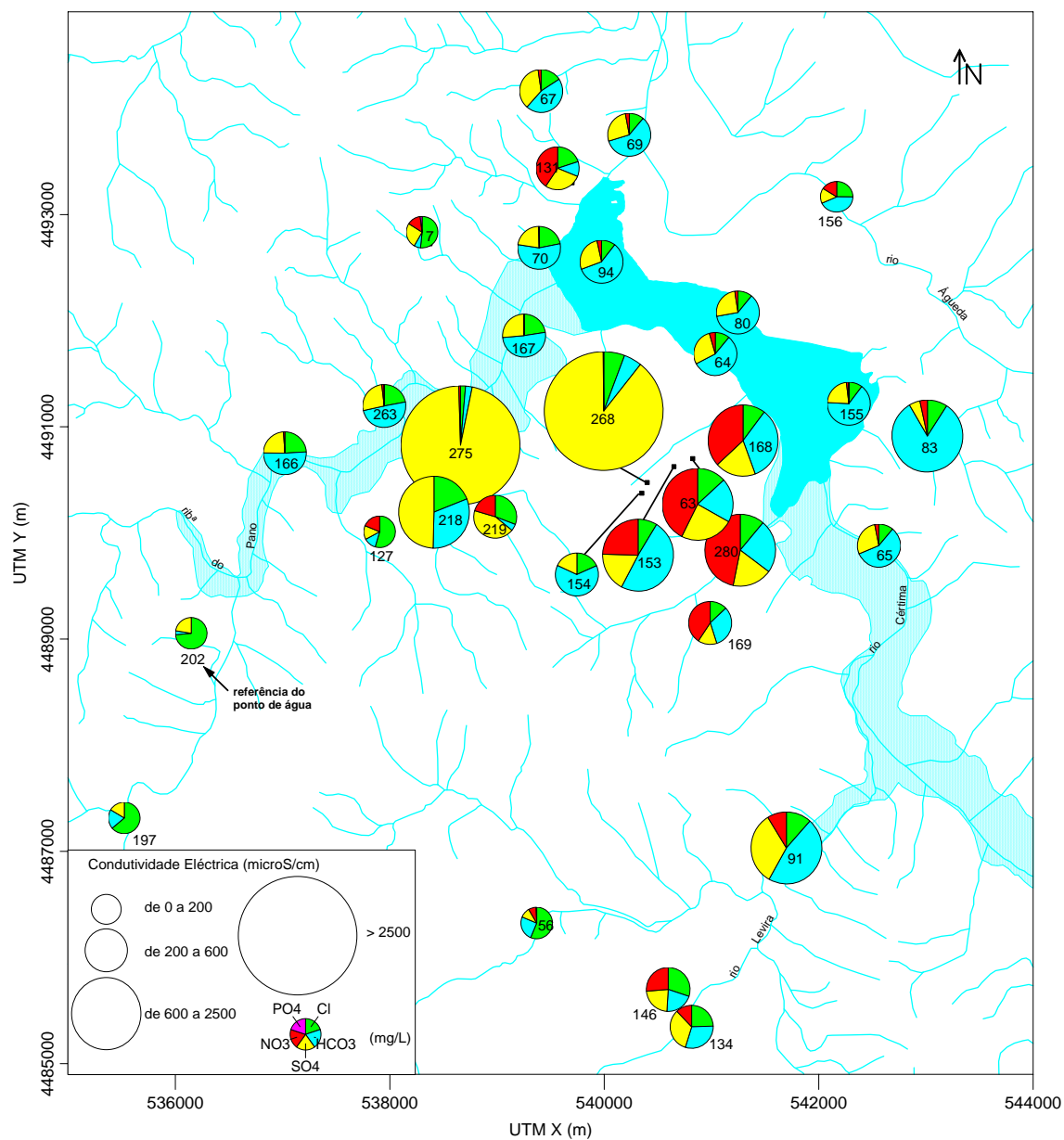
## A.7. Nascentes inventariadas na área de estudo



### A.8. Mapa das principais redes viárias



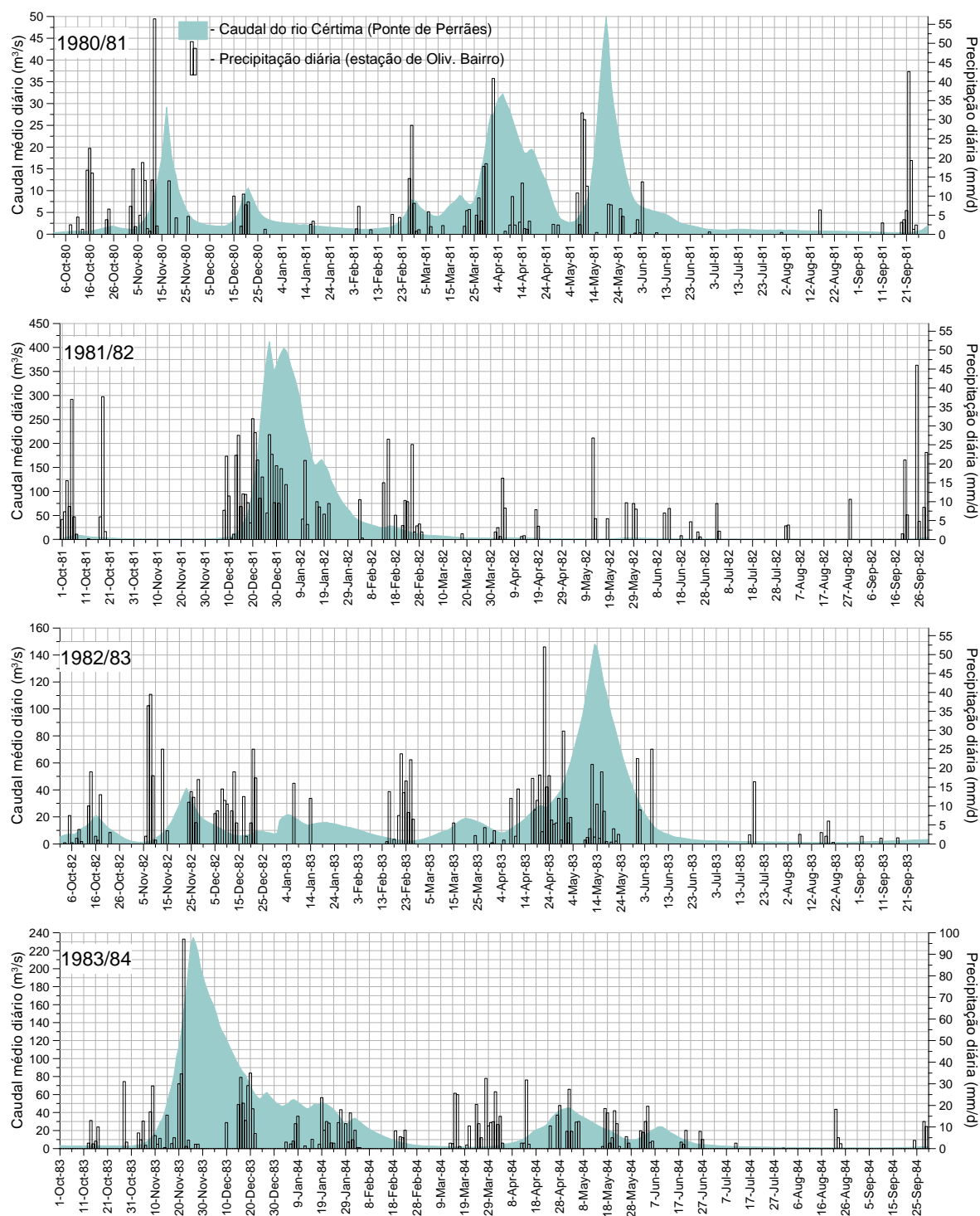
## A.9. Distribuição dos aniões maioritários



## ANEXO B

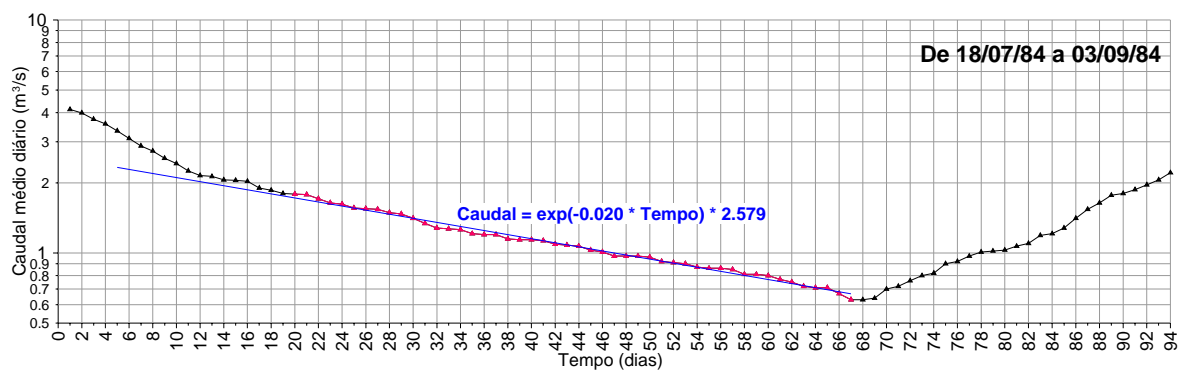
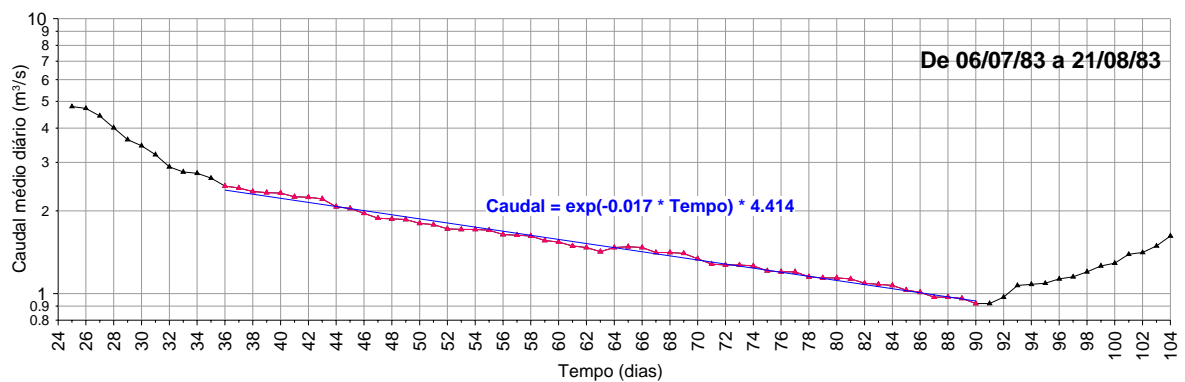
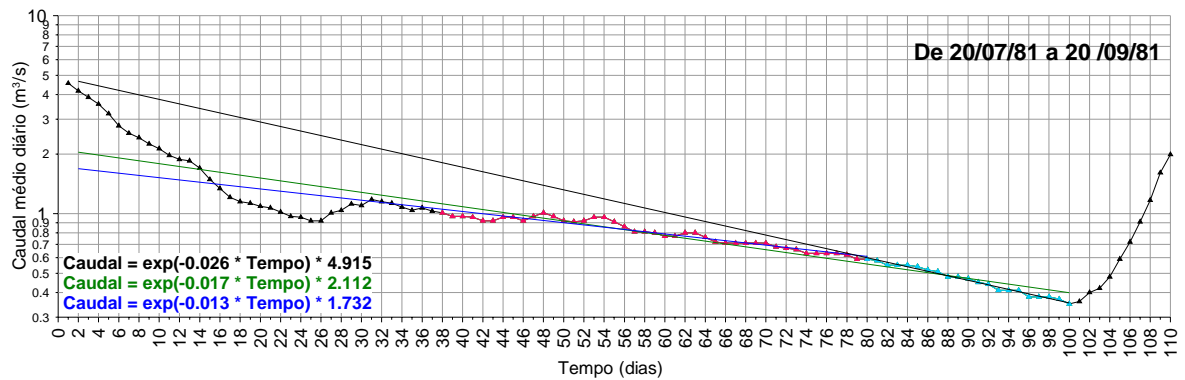
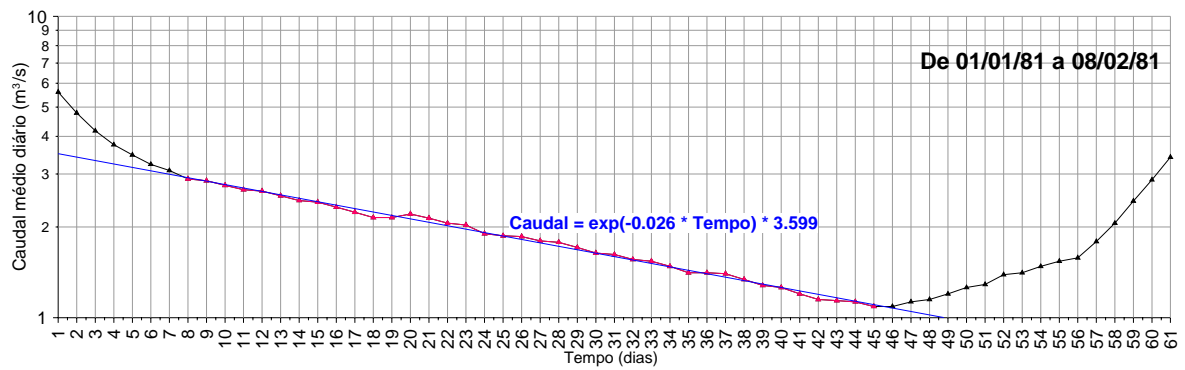
### GRÁFICOS

#### B.1. Hidrogramas e hietogramas anuais do rio Cértima



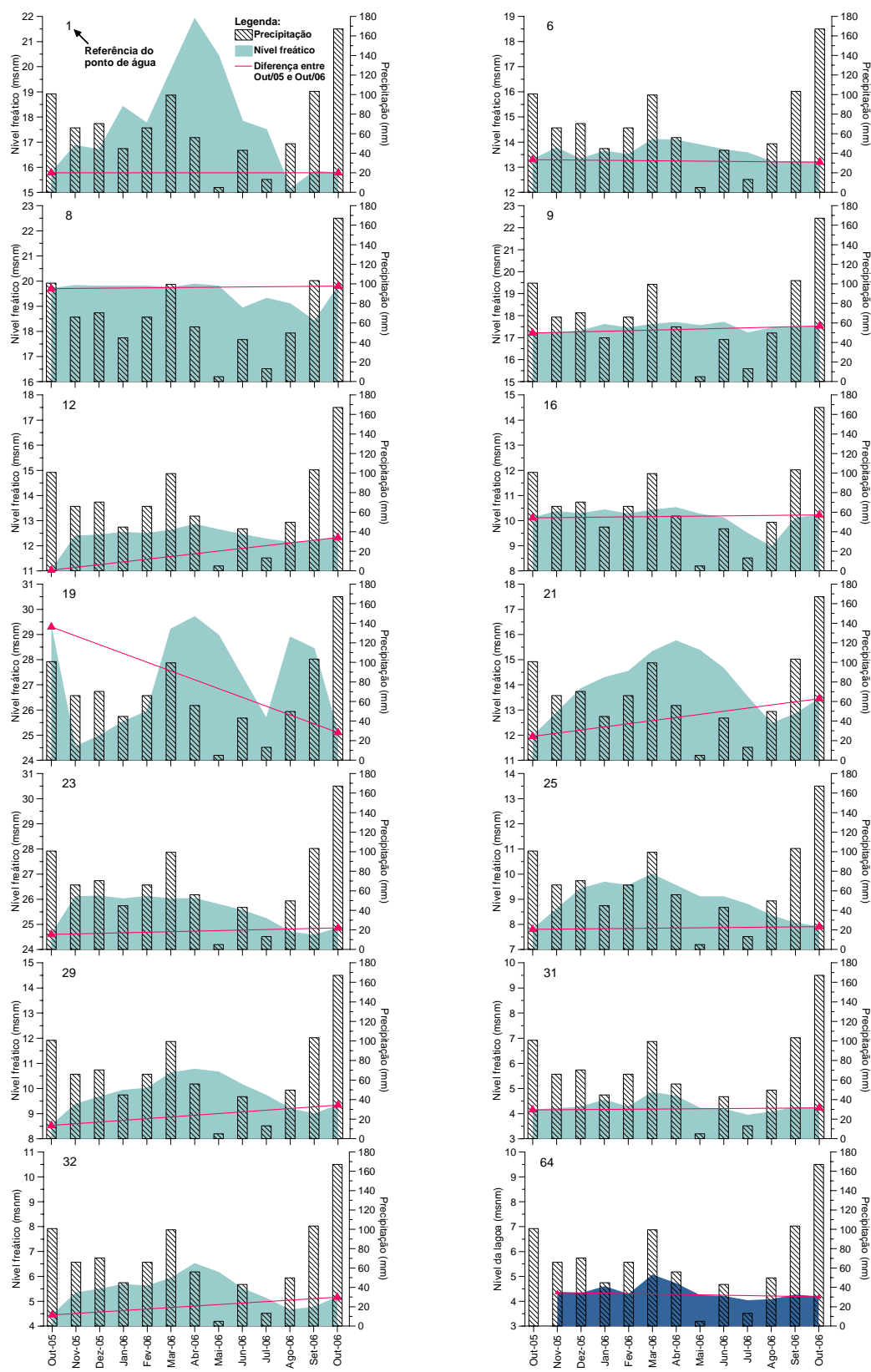


## B.2. Análise da curva de esgotamento do rio Cértima

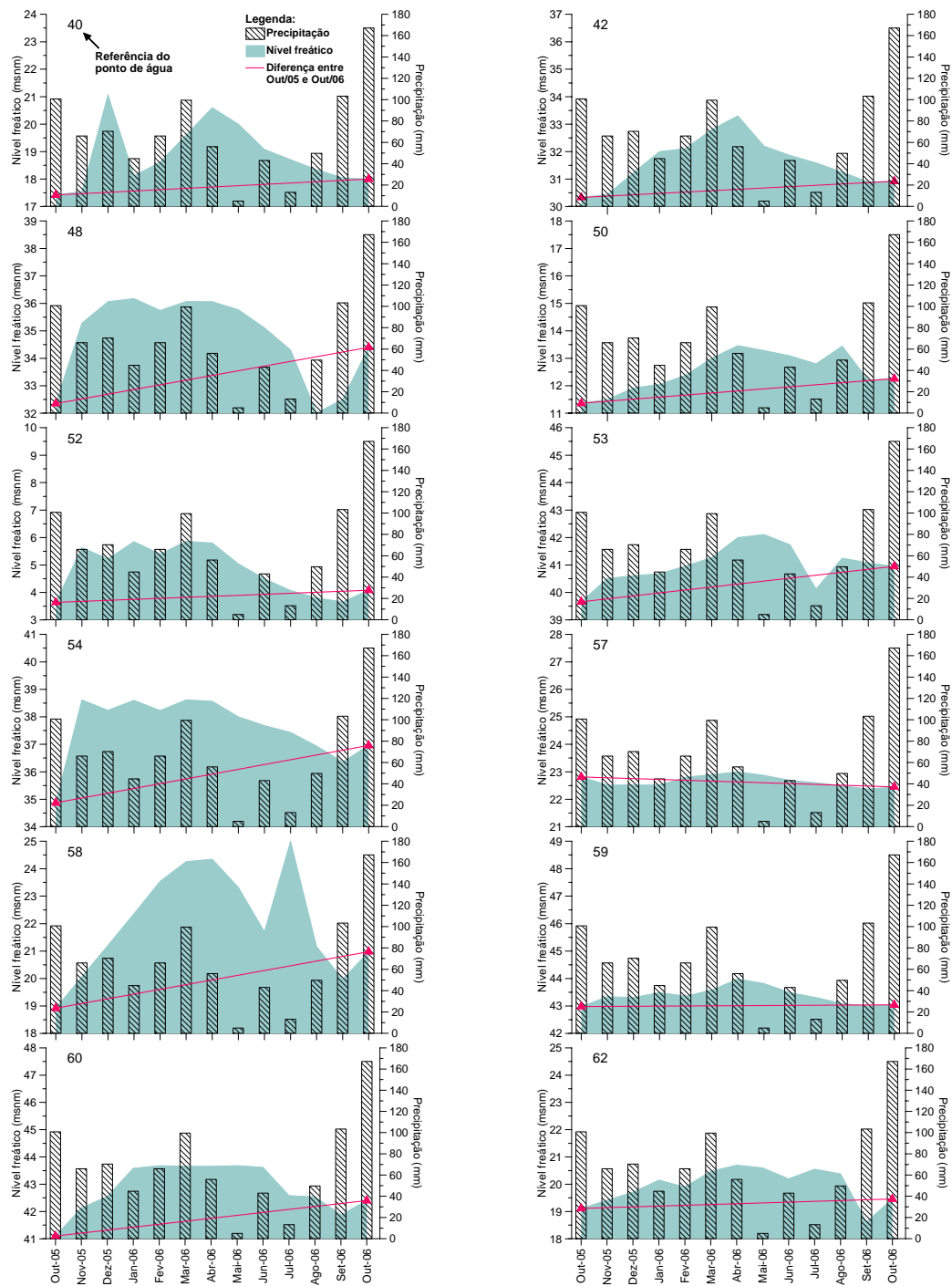




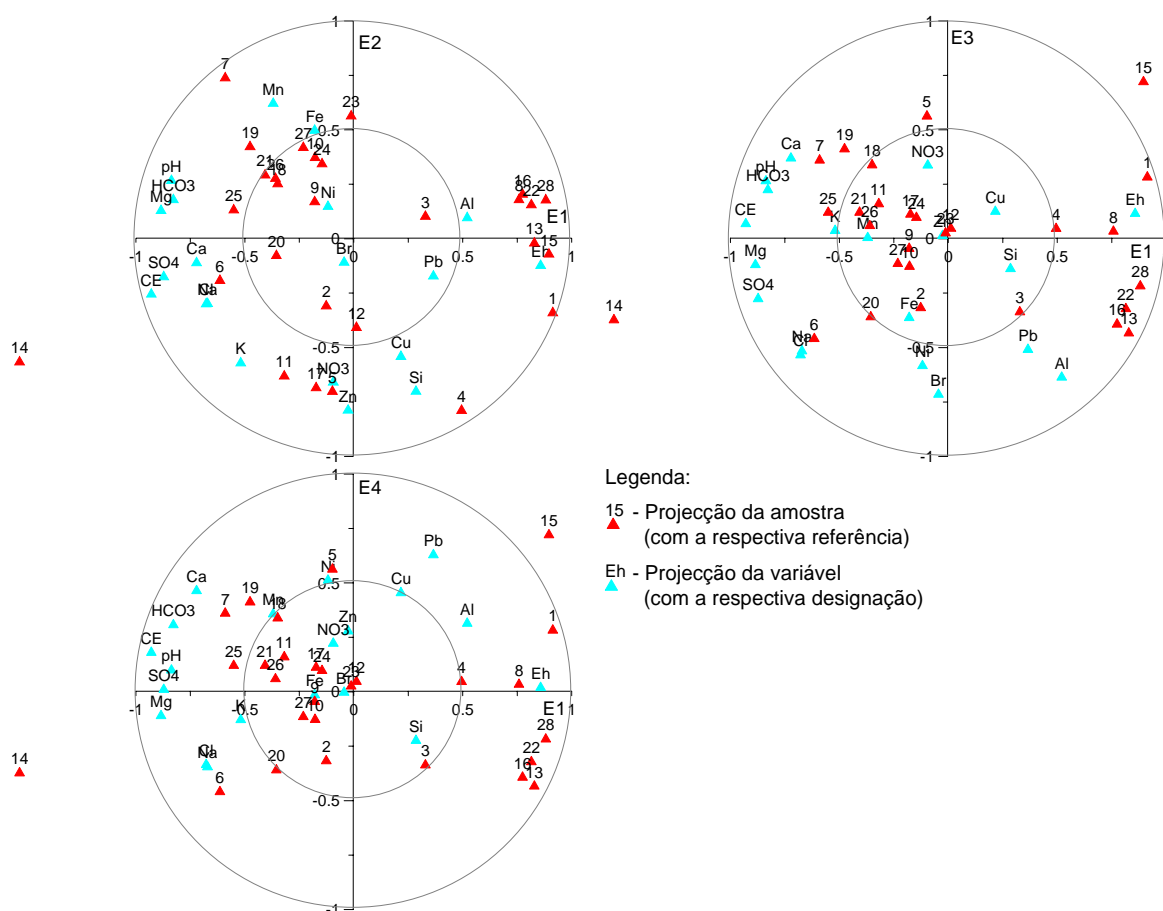
### B.3. Evolução do nível freático e do nível da lagoa durante o ano de 2005/06




















































































































#### B.4. Evolução do nível freático durante o ano de 2005/06 (continuação)






## B.5. Projecção das variáveis e das amostras nos três primeiros planos resultantes da ACP



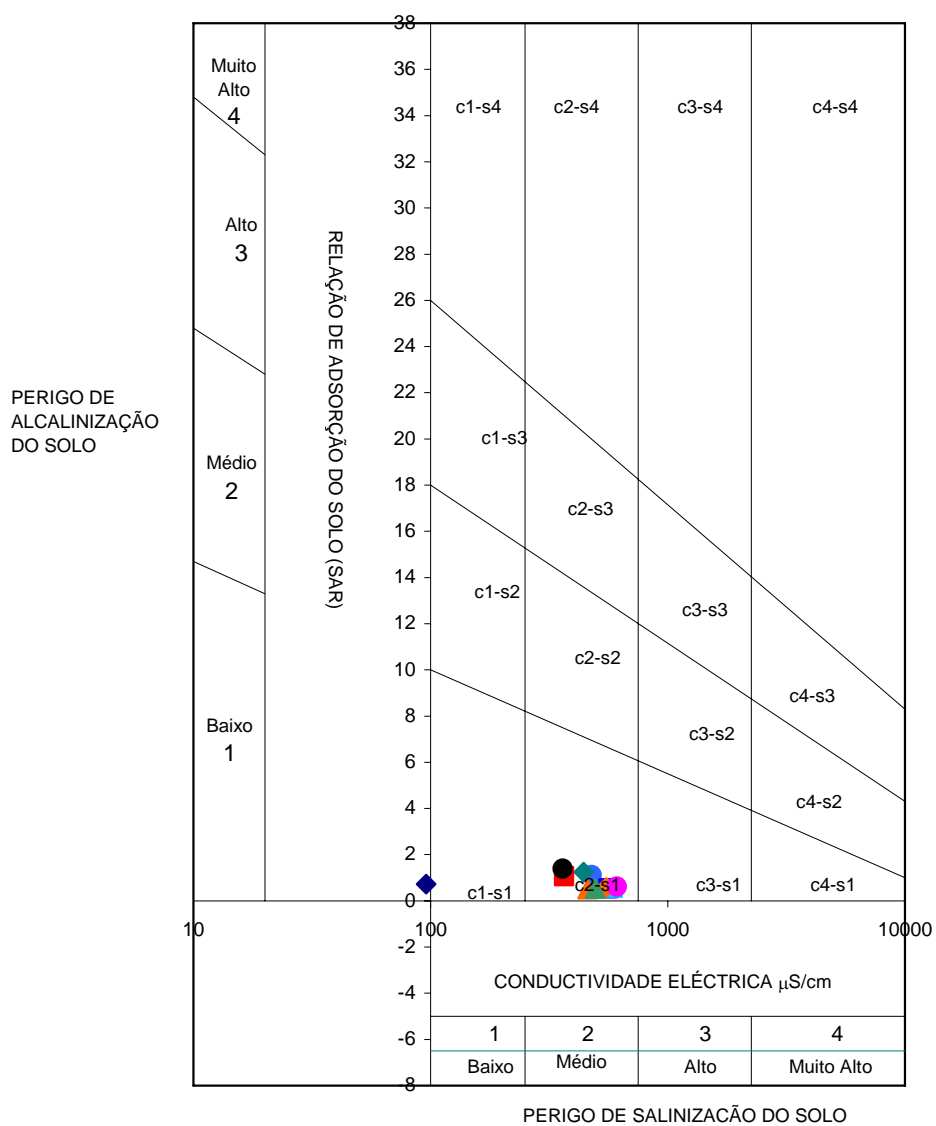
### B.6. Variação mensal do azoto inorgânico dissolvido

Ref. do ponto de água	7	63	64	65	67	69	70	80	94	127
Nov-05	 13.1	 107.1	 140.5	 135.8	 2.0	 151.4	 209.2	 129.2	 73.1	
Dez-05	 12	 92.8	 145.2	 131.9	 2.0	 9.3	 93.0	 129.9	Sem análise	
Jan-06	 3.6	 78.1	 11.2	 10.0	 0.7	 10.6	 0.4	 12.0	 11.2	 6.5
Fev-06	 3.1	 88.6	 15.1	 17.2	 1.5	 10.2	 2.1	 13.0	 12.4	 6.2
Mar-06	 4.6	 98.9	 8.7	 8.2	 6.9	 7.7	 4.4	 8.3	 8.7	 7.0
Abr-06	 4.6	 100.7	 11.4	 8.3	 3.8	 6.4	 0.1	 4.7	 7.9	 6.8
Mai-06	 5.4	 102.2	 2.9	 15.7	 9.8	 1.9	a.l.d.	 4.4	 1.8	 8.0
Jun-06	 6.2	 116.3	 0.2	 7.1	 4.1	 2.8	 0.1	 0.1	 0.1	 7.2
Jul-06	 4.7	 119.4	 0.3	 2.3	 0.6	 1.7	 0.1	 0.1	 0.2	 6.8
Ago-06	 4.2	 127.8	a.l.d.	 3.9	 2.6	 1.0	 2.3	a.l.d.	a.l.d.	 7.2
Set-06	 3.7	 132.9	 1.7	 13.6	 10.1	 1.7	 1.8	 0.3	 3.3	 8.0
Out-06	 2.4	 126.8	 5.6	 17.7	 33.6	 4.0	 2.8	 9.3	 4.5	 7.0

Legenda:  -  $\text{NH}_4^+$   -  $\text{NO}_3^-$   -  $\text{NO}_2^-$ ; valores de azoto inorgânico dissolvido ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$ ) em mg/L; a.l.d. – abaixo do limite de detecção.

## B.7. Índice SAR para as águas superficiais (Abril de 2006)

### CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA REGA



■ Lg. Espinhel (155)	◆ r. Águeda (156)	● rib. Pano (166)
◆ "Olho Bico" (167)	■ Lg. Fermentelos (64)	▲ r. Cértima (65)
◆ r. Cértima (69)	■ Lg. S. Paio (70)	▲ Lg. Óis Rib. (80)
● r. Levira (91)	▲ Lg. (Norte) (94)	● "Olho P. Riba" (263)

## ANEXO C

### INVENTÁRIO

#### C.1. Inventário dos pontos de água

Ref. Pto água	Tipo Pto água	Data	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Toponímia	Cota terreno (msnm)	Prof. Nível (m)	Nível freático (m)	Piezom. mensal	Análise mensal
1	poço	17-10-05	537450	4492350	Sanguinheira	25	9.22	15.78	sim	
2	fonte	17-10-05	537575	4492425	Fonte Sanguinheira	20	0	20	sim	
3	poço	17-10-05	538475	4491975	Carregal	28	9.34	18.66		
4	fonte	17-10-05	538575	4491675	Fonte Pano	13	0	13		
5	poço	17-10-05	538500	4491800	Carregal	17	3.04	13.96		
6	poço	17-10-05	538425	4491725	Pq. Carregal)	15	1.7	13.3	sim	
7	fonte	17-10-05	538375	4492725	Fonte Cilha	31	0	31	sim	sim
8	poço	17-10-05	538500	4492575	Requeixo	20	0.3	19.7	sim	
9	poço	17-10-05	539200	4492900	S. Paio	19	1.79	17.21	sim	
10	poço	17-10-05	539300	4492865	S. Paio	10	3.59	6.41	sim	
11	poço	17-10-05	539400	4492800	S. Paio	8	2.75	5.25	sim	
12	poço	17-10-05	539475	4493050	S. Paio (Igreja)	15	3.97	11.03	sim	
13	poço	17-10-05	539625	4493025	S. Paio	8	4.49	3.51	sim	
14	poço	17-10-05	539525	4493025	S. Paio	10	6.75	3.25	sim	
15	poço	17-10-05	539825	4493300	Pq. Pat. (Requeixo)	8	7.19	0.81	sim	
16	poço	17-10-05	539800	4493300	Pq. Pat. (Requeixo)	13	2.89	10.11	sim	
17	poço	17-10-05	539750	4493425	Pq. Pat. (Requeixo)	13	4.16	8.84		
18	fonte	17-10-05	536154	4491643	Fonte Bica	40	0	40	sim	
19	poço	17-10-05	541450	4488150	Perrães	32	2.7	29.3	sim	
20	poço	17-10-05	542050	4488850	Perrães	18	8.16	9.84		
21	poço	17-10-05	541500	4489025	Rego(Este)	17	5.05	11.95	sim	
22	poço	17-10-05	540225	4489175	Rego(Oeste)	29	3.26	25.74		
23	poço	17-10-05	540350	4489125	Rego(Oeste)	27	2.4	24.6	sim	
24	poço	17-10-05	541275	4489575	Rego(Norte)	8	1.42	6.58		
25	poço	17-10-05	541275	4489700	Rego(Norte)	10	2.2	7.8	sim	
26	poço	17-10-05	541350	4489750	Febres	10	2.41	7.59		
27	poço	17-10-05	541475	4489825	Pq. Merendas Rego	9	2.34	6.66	sim	
28	poço	17-10-05	541225	4489950	Febres	13	4.18	8.82		
29	poço	17-10-05	541225	4490175	Febres	13	4.47	8.53	sim	
30	poço	17-10-05	540425	4490950	Fermentelos	23	5.89	17.11		
31	poço	17-10-05	540849	4491642	Fermentelos	8	2.45	5.55	sim	
32	poço	17-10-05	540175	4491800	Fermentelos	12	8.31	3.69	sim	
33	poço	17-10-05	538950	4490950	Fermentelos W	25	11.7	13.3		
34	poço	17-10-05	538868	4491065	Fermentelos W	15	4.85	10.15	sim	
35	fonte	17-10-05	538850	4491075	Fonte Muro	10	0	10	sim	
36	poço	19-10-05	538725	4491675	Pq. Carregal	7	4.81	2.19	sim	
37	fonte	19-10-05	538775	4491550	Pq. Carregal	5	0	5	sim	
38	poço	19-10-05	539325	4493300	S. Paio (N)	10	3.95	6.05		
39	poço	19-10-05	539400	4493425	Requeixo(SW)	23	6.24	16.76		
40	poço	19-10-05	539475	4493450	Requeixo(SW)	22	4.58	17.42	sim	
41	poço	19-10-05	539400	4493675	Requeixo	25	4.32	20.68		
42	poço	19-10-05	538975	4493825	C. futebol Requeixo	35	4.67	30.33	sim	
43	poço	19-10-05	538950	4493650	Cavadas (Requeixo)	22	3.3	18.7		
44	poço	19-10-05	538900	4493550	Cavadas (Requeixo)	19	2.58	16.42		
45	poço	19-10-05	539350	4494025	Vila Nova (Requeixo)	49	4.61	44.39		
46	poço	19-10-05	539475	4494050	Vila Nova nº66	41	12.89	28.11		
47	poço	19-10-05	538975	4494250	Requeixo (W)	43	3.53	39.47		
48	poço	19-10-05	539075	4494350	Requeixo (W)	37	4.65	32.35	sim	
49	poço	19-10-05	541575	4488350	Giesta ("Há tacho")	29	3.1	25.9		
50	poço	19-10-05	541875	4489100	Perrães	19	7.64	11.36	sim	
51	poço	19-10-05	542300	4489025	Perrães	18	7.83	10.17		
52	poço	19-10-05	542425	4488950	Pq Merendas Prego	14	4.56	9.44	sim	
53	poço	19-10-05	540675	4488725	Est.333 - Sudas	47	7.34	39.66	sim	
54	poço	19-10-05	538800	4487750	Regatinha	39	5.13	33.87	sim	
55	poço	19-10-05	538425	4486925	Silveira	47	1.49	45.51		

## C.2. Inventário dos pontos de água (continuação)

Ref. Pto água	Tipo Pto água	Data	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Toponímia	Cota terreno (msnm)	Prof. Nível (m)	Nível freático (m)	Piezom. mensal	Análise mensal
56	fonte	19-10-05	539495	4486258	Fonte Seara	23	0	23	sim	
57	poço	19-10-05	539350	4486375	Pq. Seara	26	3.19	22.81	sim	
58	poço	19-10-05	540825	4485825	Água em Poças	25	6.08	18.92	sim	
59	poço	19-10-05	540725	4487275	Rua Furadouro	45	2.02	42.98	sim	
60	poço	19-10-05	539825	4489500	Agras	45	3.9	41.1	sim	
61	fonte	19-10-05	539375	4491000	Fonte do Rio	12		12		
62	poço	19-10-05	539475	4490975	Fermentelos	25	5.89	19.11	sim	
63	poço	29-11-05	540825	4490700	Fermentelos	17	3.82	13.18	sim	sim
64	lagoa	29-11-05	541128	4491582	Estalagem Ferm.	8	0.81	7.19	sim	sim
65	rio	29-11-05	542651	4489804	Rio Cértima	9	0.6	8.4		sim
66	poço	29-11-05	542875	4489725	Piedade	10	1.7	8.3	sim	
67	furo	29-11-05	539500	4494050	Requeixo	41		41		sim
68	fonte	29-11-05	540050	4493775	Fte Amores	19	0	19	sim	
69	rio	29-11-05	540318	4493641	Pte Requeixo	14	6.4	7.6	sim	sim
70	lagoa	29-11-05	539469	4492591	Olho de S. Paio	7		7		sim
71	poço	29-11-05	541525	4494075	Travassô de Baixo	13	0.65	12.35		
72	fonte	29-11-05	542625	4493100	Cabanões	16	0	16		
73	poço	29-11-05	543025	4493025	Cabanões	33	5.04	27.96		
74	poço	29-11-05	542800	4492975	Cabanões	19		19		
75	poço	29-11-05	543175	4492625	Cabanões	25	4.92	20.08		
76	poço	29-11-05	543850	4492625	Casal de Álvaro	17	0.96	16.04		
77	poço	29-11-05	542325	4492625	Óis da Ribeira	25	6.67	18.33		
78	poço	29-11-05	541975	4492325	Óis da Ribeira	22	1.43	20.57	sim	
79	poço	29-11-05	541900	4492025	Óis da Ribeira	21	0.4	20.6	sim	
80	lagoa	29-11-05	541356	4491985	Óis da Ribeira			0		sim
81	poço	29-11-05	541375	4492350	Óis da Ribeira	12	4.18	7.82	sim	
82	poço	29-11-05	543300	4491375	Espinhel	10	6.6	3.4	sim	
83	poço	29-11-05	543100	4490825	Espinhel	41	2.98	38.02	sim	
84	poço	29-11-05	543450	4490100	Piedade	51	4.82	46.18	sim	
85	poço	29-11-05	535225	4482100	Mamarrosa	44	2.38	41.62	sim	
86	poço	29-11-05	537050	4487725	Águas Boas	55	4.86	50.14	sim	
87	poço	29-11-05	536750	4487125	Carro Quebrado	58	3.99	54.01	sim	
88	fonte	29-11-05	536500	4487500	Águas Boas	30	0	30		
89	poço	29-11-05	541975	4486850	Recamonde	13	2.86	10.14	sim	
90	poço	29-11-05	542700	4487250	Amoreira Repolão	19	1.5	17.5	sim	
91	rio	29-11-05	541775	4486975	Rio Levira	13.3	4.73	8.57	sim	
92	poço	29-11-05	541950	4487400	N. Sra. Dores	21	1.12	19.88	sim	
93	poço	29-11-05	543900	4487700	Barrô	16	0.45	15.55		
94	lagoa	29-11-05	540046	4492451	Pateira superficial					sim
95	lagoa	29-11-05	540046	4492451	Pateira profundo					
96	poço	27-12-05	536575	4482100	Mamarrosa	49.5	1.33	48.17	sim	
97	poço	27-12-05	540150	4483800	Mte Longo Areia (W)	41.25	4.36	36.89	sim	
98	poço	27-12-05	540575	4483150	Serena (W)	33.63	2.47	31.16	sim	
99	poço	27-12-05	539775	4482750	Portouro	26.25	4.5	21.75	sim	
100	poço	27-12-05	542625	4486350	Amoreira do Repolão	67.33	8.64	58.69	sim	
101	rio	27-12-05	542825	4489375	Pte Perrães	10	6.34	3.66	sim	
102	poço	27-12-05	541425	4490625	Fermentelos	10	1.98	8.02	sim	
103	poço	27-12-05	541350	4491100	Fermentelos	9.7	1.26	8.44	sim	
104	poço	27-12-05	541625	4490925	Fermentelos	8.5	0.6	7.9	sim	
105	poço	27-12-05	541061	4491489	Fermentelos	10.5	6.83	3.67	sim	
106	poço	27-12-05	540644	4491793	Fermentelos	8	2	6	sim	
107	poço	27-12-05	540329	4491897	Fermentelos	9	2.46	6.54	sim	
108	poço	27-12-05	540025	4491750	Fermentelos	9	1.39	7.61	sim	
109	poço	27-12-05	540225	4491575	Fermentelos	16.5	3.69	12.81	sim	
110	poço	28-12-05	540575	4491450	Fermentelos	13	3.41	9.59	sim	

**C.3. Inventário dos pontos de água (continuação)**

Ref. Pto água	Tipo Pto água	Data	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Toponímia	Cota terreno (msnm)	Prof. Nível (m)	Nível freático (m)	Piezom. mensal	Análise mensal
111	poço	28-12-5	539675	4491725	Fermentelos	13.2	2.2	11	sim	
112	poço	28-12-5	539425	4490300	Fermentelos	29	3.23	25.77	sim	
113	poço	28-12-5	533600	4487025	Palhaça	45.5	1.69	43.81	sim	
114	poço	28-12-5	534825	4489525	Verba (S) Vessada	29	1.15	27.85	sim	
115	poço	28-12-5	534350	4489800	Verba	16	3.44	12.56	sim	
116	poço	28-12-5	534300	4490200	Verba	16	0.16	15.84	sim	
117	poço	22-3-06	534825	4491450	Póvoa do Valado	38	2.8	35.2	sim	
118	poço	22-3-06	536500	4491825	Quintas	36.7	0.38	36.32	sim	
119	poço	22-3-06	537000	4491525	Quintas	25	0.67	24.33	sim	
120	poço	22-3-06	541850	4492700	Óis da Ribeira	14.5	5.23	9.27	sim	
121	poço	22-3-06	542375	4492550	Óis da Ribeira	30	11.72	18.28	sim	
122	poço	22-3-06	543020	4488600	Paradela	19	seco			
123	poço	22-3-06	543450	4488425	Paradela	61	8.16	52.84	sim	
124	poço	22-3-06	544025	4487525	Barrô	13	2.75	10.25	sim	
125	poço	22-3-06	539050	4489525	Agras	48.5	2.86	45.64	sim	
126	poço	22-3-06	542926	4488455	Paradela	12	2.18	9.82	sim	
127	furo	20-1-06	537975	4489925	Z. Industrial Oiã			0		sim
128	poço	22-2-06	538500	4491475	Carregal (Pano)	9	1.91	7.09	sim	
129	poço	22-2-06	538425	4491725	Carregal (Pano)	17.28	0.65	16.63	sim	
130	poço	15-2-06	541525	4492775	Óis da Ribeira	8	1.35	6.65	sim	
131	fonte	15-2-06	539700	4493300	Fte Casal (Requeixo)	13		13	sim	
132	poço	15-2-06	539000	4492525	S. Paio (Cabedelo)	8.75	3.35	5.4	sim	
133	poço	15-2-06	540025	4490950	Fermentelos	30	2.57	27.43	sim	
134	fonte	15-2-06	540654	4485408	Fte Água em Poças	28		28	sim	
135	poço	22-2-06	538550	4491550	Carregal (Pano)	10	2.49	7.51	sim	
136	poço	22-2-06	538850	4492000	Carregal (Pano)	6	0.21	5.79		
137	poço	22-2-06	538700	4491900	Carregal (Pano)	20	4.61	15.39	sim	
138	poço	22-2-06	538550	4492200	Carregal (Pano)	28	11.68	16.32	sim	
139	poço	22-2-06	538650	4492225	Carregal	20	5.37	14.63	sim	
140	poço	22-2-06	539625	4492875	S. Paio	6	0.25	5.75		
141	poço	22-2-06	538350	4490950	Vale Coutinho	8	0.95	7.05	sim	
142	poço	22-2-06	538350	4490875	Vale Coutinho	8.7	1.95	6.75	sim	
143	poço	22-2-06	538600	4490675	Vale Coutinho	17	4.38	12.62	sim	
144	poço	22-2-06	539467	4491909	Bico	8	1.6	6.4	sim	
145	poço	22-2-06	540133	4491925	Outeiro	7	0.6	6.4	sim	
146	furo	24-3-06	540725	4485575	Vila Verde	36		36		
147	fonte	21-4-06	533825	4487100	Fte Bebe e Vai-te	54		54	sim	
148	fonte	14-2-06	534975	4492000	Fte Cosme	28		28	sim	
149	fonte	14-2-06	534200	4491825	Fte Velha	34		34	sim	
150	poço	22-3-06	539900	4489450	Agras	40		40		
151	fonte	18-3-06	539950	4493875	Fte R. Poceiras	25		25		
152	fonte	18-3-06	536400	4492050	Fte Lugar	58		58		
153	poço	22-4-06	540650	4490625	Fermentelos	21	3.55	17.45		
154	furo	22-4-06	540350	4490375	R. Belavista	48	31.19	16.81	sim	
155	lagoa	22-4-06	542375	4491075	Espinhel			0		
156	rio	22-4-06	542200	4493100	Rio Águeda			0		
157	poço	22-4-06	540025	4494275	Requeixo	17	2.95	14.05		
158	fonte	22-4-06	539725	4494550	Fte Taipa	10		10		
159	poço	22-4-06	539400	4494725	Requeixo	25	2.3	22.7		
160	poço	22-4-06	539225	4494725	Requeixo	29	1.28	27.72		
161	poço	22-4-06	539125	4494875	Requeixo	37.14	1.99	35.15		
162	poço	22-4-06	538725	4494525	Arrotas	28	3.32	24.68		
163	poço	22-4-06	536450	4494125	W de Quintas	35	2.1	32.9		
164	poço	22-4-06	537400	4493500	A1 - Quintas	65.5	10	55.5		
165	poço	22-4-06	537575	4492575	Sanguinheira N	37	4.19	32.81		



**C.4. Inventário dos pontos de água (continuação)**

Ref. Pto água	Tipo Pto água	Data	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Toponímia	Cota terreno (msnm)	Prof. Nível (m)	Nível freático (m)	Piezom. mensal	Análise mensal
166	rio	20-4-06	537100	4490650	Ribeira do Pano	8		8		
167	lagoa	20-4-06	539350	4491775	Olho do Bico	6		6		
168	poço	20-4-06	541425	4490975	Fermentelos	9.7	0.92	8.78		
169	poço	20-4-06	541075	4489075	Rego	23	2.93	20.07		
170	poço	20-4-06	541000	4489300	Rego	18.6	2.29	16.31		
171	poço	20-4-06	534825	4482625	Bustos	60.88	0.85	60.03		
172	poço	20-4-06	534525	4482375	Bustos	57	1.15	55.85		
173	poço	20-4-06	533750	4482325	Bustos	58	4.01	53.99		
174	poço	20-4-06	533300	4482550	Porto de Vouga	51	0.91	50.09		
175	poço	20-4-06	532575	4482675	Plainada (Bustos)	45	2.55	42.45		
176	poço	20-4-06	533525	4482725	Bustos	57	2.49	54.51		
177	poço	20-4-06	534250	4483650	Picada (Bustos)	60.5	1.35	59.15		
178	poço	20-4-06	534150	4483950	Picada N (Bustos)	59	0.68	58.32		
179	poço	20-4-06	532950	4485275	W Lagoinha	55	1.95	53.05		
180	poço	20-4-06	531675	4486100	S Carregosa	52	1.6	50.4		
181	poço	20-4-06	530925	4487225	SW Telheiros	56.25	6.19	50.06		
182	poço	20-4-06	531150	4488475	Quinta Nova	60	8.56	51.44		
183	poço	20-4-06	530200	4489875	NE Lavandeira	54	8.05	45.95		
184	poço	20-4-06	529225	4489600	S Lavandeira	45.5	1.03	44.47		
185	poço	20-4-06	531475	4490425	W Salgueiro	60.5	12.19	48.31		
186	poço	21-4-06	532000	4490150	S Salgueiro	57.78	4.4	53.38		
187	fonte	21-4-06	532125	4490375	Fte Velha	56		56		
188	poço	21-4-06	532250	4490300	S Salgueiro	52	1.67	50.33		
189	fonte	21-4-06	532600	4490475	Lugar da Berba	45		45		
190	poço	21-4-06	533925	4489275	Nariz	19	3.34	15.66		
191	fonte	21-4-06	534050	4489150	Vala do Fontão	19		19		
192	poço	21-4-06	533850	4488925	C. futebol Nariz	23	2.15	20.85		
193	poço	21-4-06	534300	4488050	Nariz	55.5	1.21	54.29		
194	fonte	21-4-06	534275	4488225	Fte Martins (Nariz)	49		49		
195	poço	21-4-06	535450	4488350	Nariz (Caramanha)	45	0.77	44.23		
196	poço	21-4-06	533550	4487650	Palhaça	33	1.07	31.93		
197	fonte	21-4-06	535641	4487256	Fte S. Domingues	21		21		
198	poço	21-4-06	537125	4487125	S Águas Boas	55.5	3.4	52.1		
199	poço	21-4-06	536775	4488250	Cruzes	39	0.47	38.53		
200	poço	21-4-06	536450	4488825	NW Cruzes	9	0.25	8.75		
201	poço	21-4-06	536375	4488800	NW Cruzes	10.5	1.38	9.12		
202	nascente	21-4-06	536225	4488975	Cruzes	19		19		
203	poço	21-4-06	536138	4488558	Caramanha (pinhal)	21	1.8	19.2		
204	poço	21-4-06	535525	4489675	Capela Sto. António	17.5	0.5	17		
205	fonte	21-4-06	535613	4489928	Fte ramalheiro	10		10		
206	fonte	21-4-06	535125	4490100	Vessada	14		14		
207	fonte	21-4-06	533450	4486275	Palhaça	53		53		
208	poço	21-4-06	533300	4486100	Palhaça	52	1.06	50.94		
209	poço	21-4-06	536650	4485350	Malhapão	61	2.85	58.15		
210	poço	21-4-06	536925	4485425	Malhapão	59	3.4	55.6		
211	poço	26-4-06	537200	4485975	N Malhapão	58	1.71	56.29		
212	poço	26-4-06	538275	4486375	Silveira	58	8.6	49.4		
213	poço	26-4-06	538450	4484450	Póvoa do Forno	50.5	2.91	47.59		
214	poço	26-4-06	537200	4482500	Póvoa do Carreiro	57	4.67	52.33		
215	fonte	26-4-06	533050	4481800	Fte Belguinha	30		30		
216	fonte	26-4-06	536850	4488200	Cruzes	47		47		
217	fonte	26-4-06	536950	4488225	Cruzes	50		50		
218	furo	26-4-06	538625	4490225	JK4	20	35.2	-15.2		
219	poço	26-4-06	538975	4490075	Fermentelos	20	10.3	9.7		
220	fonte	26-4-06	537550	4483650	Troviscal	40		40		

**C.5. Inventário dos pontos de água (continuação)**

Ref. Pto água	Tipo Pto água	Data	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Toponímia	Cota terreno (msnm)	Prof. Nível (m)	Nível freático (m)	Piezom. mensal	Análise mensal
221	poço	26-4-06	537625	4483150	Troviscal	52	5.78	46.22		
222	poço	26-4-06	537750	4482150	Póvoa do Carreiro	55	4.58	50.42		
223	poço	26-4-06	537175	4481175	Mamarrosa	49	0.63	48.37		
224	poço	26-4-06	539400	4481825	Amoreira Gândara	42	0.67	41.33		
225	fonte	26-4-06	539425	4481775	Amoreira Gândara	45		45		
226	fonte	26-4-06	539825	4482825	Portouro	26		26		
227	fonte	26-4-06	540675	4482900	Serena	56		56		
228	fonte	26-4-06	540950	4483325	Fte da Cuba	60		60		
229	poço	26-4-06	541075	4483160	Serena N	68	8.26	59.74		
230	poço	26-4-06	541600	4482450	Serena SE	69	4.38	64.62		
231	poço	26-4-06	541825	4482475	Póvoa do Mato W	72	5.4	66.6		
232	poço	26-4-06	542450	4481350	Sangalhos	52	0	52		
233	poço	26-4-06	542300	4481500	SW Fogueira	55	3.3	51.7		
234	poço	26-4-06	543625	4481350	S Fogueira	35	2.04	32.96		
235	poço	26-4-06	545675	4481900	Sangalhos	19	0.6	18.4		
236	poço	26-4-06	545175	4482725	Sangalhos	80	2.52	77.48		
237	poço	26-4-06	545250	4481975	Sangalhos	82.5	3.25	79.25		
238	poço	26-4-06	544125	4482950	Sangalhos	40	0.8	39.2		
239	poço	26-4-06	543550	4483050	Ribeiro de sangalhos	39	6.28	32.72		
240	fonte	26-4-06	542925	4484525	Fte Coinha	30		30		
241	poço	26-4-06	544750	4484000	Alto da Chã	68	3.09	64.91		
242	fonte	26-4-06	545100	4484100	Fontanheiras	60		60		
243	poço	26-4-06	545300	4485025	Monte Verde	12	2.71	9.29		
244	poço	26-4-06	544975	4485600	Outeiro	18	2.78	15.22		
245	poço	26-4-06	543775	4486000	N. Sra. Saúde	26	1.13	24.87		
246	poço	26-4-06	543650	4485700	Oliveira do Bairro	29	0.4	28.6		
247	poço	26-4-06	543250	4486425	Repolão W	32	1.67	30.33		
248	poço	26-4-06	543450	4486700	Repolão N	20	4.45	15.55		
249	fonte	26-4-06	545500	4486600	Fonte da Oleira	20		20		
250	poço	26-4-06	539750	4488050	Regatinha NE	69	5.41	63.59		
251	poço	26-4-06	539675	4487725	Regatinha SE	62	5.7	56.3		
252	fonte	26-4-06	539200	4487675	Fte Doce (Oiã)	40		40		
253	poço	26-4-06	534700	4486250	Palhaça E	57	2.7	54.3		
254	poço	26-4-06	533925	4484275	Palhaça S	59	1.35	57.65		
255	poço	26-4-06	535050	4483125	Bustos	65	4.02	60.98		
256	fonte	26-4-06	535825	4484525	Fte Limeira	60		60		
257	poço	26-4-06	536275	4484725	Palhaça	65	2	63		
258	fonte	26-4-06	536100	4483075	Fte Carvalha	60		60		
259	poço	26-4-06	535975	4483125	V. da Murta	64	0.85	63.15		
260	poço	26-4-06	537025	4484175	Bedouro (Troviscal)	56	1.32	54.68		
261	fonte	26-4-06	538550	4484000	Fte Saúde	47		47		
262	poço	26-4-06	537675	4482750	Póvoa Carreiro	54	5.86	48.14		
263	lagoa	27-4-06	538025	4491100	O. Grande P. da Riba	6		6		
264	lagoa	27-4-06	538200	4491025	Olho Peq. P. da Riba	6		6		
265	nascente	7-6-06	538268	4490947	Vale Coutinho	7		7		
266	nascente	7-6-06	538247	4490906	Vale Coutinho	7.5		7.5		
267	nascente	7-6-06	538450	4491082	Vale Coutinho	7.5		7.5		
268	furo	7-6-06	540400	4490475	R. Belavista	37	27.05	9.95		
269	poço	7-6-06	540425	4490475	R. Belavista	37	3.5	33.5		
270	furo	7-6-06	540450	4490650	R. Belavista n.º42	30		30		
271	poço	7-6-06	540475	4490625	R. Belavista n.º42	30	6.72	23.28		
272	fonte	7-6-06	540071	4490527	Ft. N. Sra. Saúde	45		45		
273	furo	7-6-06	539870	4490872	Fermentelos	29	21.55	7.45		
274	furo	8-6-06	540025	4490150	E.B. de Fermentelos	46	39.05	6.95		
275	Efluente	12-6-06	538690	4490486	Efluente Metalfer					
276	nascente	17-6-06	539300	4492825	S. Paio	10		10		
277	furo	26-04-6	538544	4490424	JK5	14.07				
278	piezómetro	20-4-06	540621	4490612	Fermentelos	20.56				
279	ribeira	19-7-06	537838	4490567	Pano, Monte Grande					
280	ribeira	19-7-06	541299	4489853	Febres (Fermentelos)					

**C.6. Inventário dos pontos de água (continuação)**

Ref. Pto água	Tipo Pto água	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Mapa 1:25000	Características captação (m)		Formação captada
					profund.	diâmetro	
1	poço	537450	4492350	185	13.0	2.5	G. Oiã
2	fonte	537575	4492425	185			G. Oiã
3	poço	538475	4491975	185	12.8	3.4	G. Oiã
4	fonte	538575	4491675	185			G. Requeixo
5	poço	538500	4491800	185	4.8	2.0	G. Oiã
6	poço	538425	4491725	185	3.6	1.5	G. Oiã
7	fonte	538375	4492725	185			G. Furadouro
8	poço	538500	4492575	185	4.2	2.5	G. Requeixo
9	poço	539200	4492900	185	4.4	1.5	G. Requeixo
10	poço	539300	4492865	185	8.2	4.0	Terraço
11	poço	539400	4492800	185	assoreado	4.0	Terraço
12	poço	539475	4493050	185	4.4	1.0	G. Requeixo
13	poço	539625	4493025	185	5.3	3.5	G. Requeixo
14	poço	539525	4493025	185	6.9	3.0	G. Requeixo
15	poço	539825	4493300	185		1.5	G. Requeixo
16	poço	539800	4493300	185	5.5	1.5	G. Requeixo
17	poço	539750	4493425	185	6.4	1.5	G. Requeixo
18	fonte	536154	4491643	185			Terraço
19	poço	541450	4488150	196	3.6	2.2	G. Requeixo
20	poço	542050	4488850	197	5.5	4.0	Terraço
21	poço	541500	4489025	196	6.9	4.5	G. Requeixo
22	poço	540225	4489175	196	4.3	3.0	G. Furadouro
23	poço	540350	4489125	196	6.1	4.5	G. Furadouro
24	poço	541275	4489575	196	4.7	4.5	G. Requeixo
25	poço	541275	4489700	196	2.9	4.5	G. Requeixo
26	poço	541350	4489750	196	4.6	4.5	G. Requeixo
27	poço	541475	4489825	196	6.9	1.0	G. Requeixo
28	poço	541225	4489950	196	7.2	4.5	G. Requeixo
29	poço	541225	4490175	196	7.2	4.5	G. Requeixo
30	poço	540425	4490950	196	6.5	2.7	G. Requeixo
31	poço	540849	4491642	185	3.2	1.0	G. Requeixo
32	poço	540175	4491800	185	8.8	2.0	G. Requeixo
33	poço	538950	4490950	196	12.0	4.0	G. Oiã
34	poço	538868	4491065	196	5.5	2.0	G. Furadouro
35	fonte	538850	4491075	196			G. Furadouro
36	poço	538725	4491675	185	5.2	3.8	G. Requeixo
37	fonte	538775	4491550	185			G. Requeixo
38	poço	539325	4493300	185	5.2	3.0	G. Requeixo
39	poço	539400	4493425	185	8.9	4.5	G. Requeixo
40	poço	539475	4493450	185	6.3	4.0	G. Requeixo
41	poço	539400	4493675	185	7.0	4.5	G. Requeixo
42	poço	538975	4493825	185	5.7	4.0	G. Oiã
43	poço	538950	4493650	185	7.7	4.5	G. Oiã
44	poço	538900	4493550	185	3.8	4.0	G. Requeixo
45	poço	539350	4494025	185	6.2	1.5	G. Oiã
46	poço	539475	4494050	185	14.0	4.5	Terraço
47	poço	538975	4494250	185	7.5	4.5	G. Oiã
48	poço	539075	4494350	185	8.8	1.5	G. Requeixo
49	poço	541575	4488350	197	7.5	4.0	G. Requeixo
50	poço	541875	4489100	197	9.5	4.5	G. Requeixo
51	poço	542300	4489025	197	10.0	4.5	G. Requeixo
52	poço	542425	4488950	197	5.7	2.0	G. Eirol
53	poço	540675	4488725	196	8.3	3.5	G. Furadouro
54	poço	538800	4487750	196	4.8	3.0	G. Oiã
55	poço	538425	4486925	196	4.7	3.0	G. Oiã

## C.7. Inventário dos pontos de água (continuação)

Ref. Pto água	Tipo Pto água	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Mapa 1:25000	Características captação (m)		Formação captada
					profund.	diâmetro	
56	fonte	539495	4486258	196			G. Oiã e Furadouro
57	poço	539350	4486375	196	3.6	2.0	G. Oiã
58	poço	540825	4485825	196	6.6	6.7	G. Requeixo
59	poço	540725	4487275	196	4.2	6.0	G. Furadouro
60	poço	539825	4489500	196	5.9	3.0	G. Oiã
61	fonte	539375	4491000	196			G. Furadouro
62	poço	539475	4490975	196	6.7	3.0	G. Furadouro
63	poço	540825	4490700	196		5.5	G. Requeixo
64	lagoa	541128	4491582	185			
65	rio	542651	4489804	197			
66	poço	542875	4489725	197	4.1	2.0	Aluvião e G. Eirol?
67	furo	539500	4494050	185	140.0	0.2	G. Requeixo e G. Eirol
68	fonte	540050	4493775	185			G. Requeixo
69	rio	540318	4493641	185			
70	lagoa	539469	4492591	185			
71	poço	541525	4494075	186	3.2	3.5	G. Eirol
72	fonte	542625	4493100	186			Aluvião
73	poço	543025	4493025	186	6.8	2.2	G. Eirol
74	poço	542800	4492975	186			G. Eirol
75	poço	543175	4492625	186	7.1	4.0	G. Eirol
76	poço	543850	4492625	186	3.6	3.0	G. Eirol
77	poço	542325	4492625	186	9.7	4.0	G. Eirol
78	poço	541975	4492325	186	8.5	3.0	G. Eirol
79	poço	541900	4492025	186	4.5	1.0	G. Eirol
80	lagoa	541356	4491985	185			
81	poço	541375	4492350	185			G. Eirol
82	poço	543300	4491375	186	12.3	4.0	G. Eirol
83	poço	543100	4490825	197	14.0	2.0	G. Eirol
84	poço	543450	4490100	197	7.1	4.0	G. Eirol
85	poço	535225	4482100	196	4.0	4.0	G. Oiã
86	poço	537050	4487725	196	6.2	4.0	Terraço
87	poço	536750	4487125	196	5.7	4.5	Calcários da Mamarrosa
88	nascente	536500	4487500	196			G. Requeixo
89	poço	541975	4486850	197	3.7	4.0	G. Requeixo e G. Eirol?
90	poço	542700	4487250	197	2.0	4.0	G. Requeixo
91	rio	541775	4486975	197			
92	poço	541950	4487400	197	3.8	3.0	G. Requeixo e G. Eirol?
93	poço	543900	4487700	197	2.1	4.0	G. Eirol
94	lagoa	540046	4492451	185			
95	lagoa	540046	4492451	185			
96	poço	536575	4482100	196	3.7	5.0	G. Oiã
97	poço	540150	4483800	196	5.1	2.0	G. Oiã
98	poço	540575	4483150	196	5.9	4.0	G. Furadouro
99	poço	539775	4482750	196	5.7	4.0	G. Furadouro e G. Requeixo?
100	poço	542625	4486350	197	13.0	3.5	G. Requeixo
101	rio	542825	4489375	197			
102	poço	541425	4490625	196	3.1	4.0	G. Requeixo
103	poço	541350	4491100	196	3.0	3.5	G. Requeixo
104	poço	541625	4490925	197	1.3	2.0	Aluvião
105	poço	541061	4491489	185	9.8	4.0	G. Requeixo
106	poço	540644	4491793	185			Aluvião
107	poço	540329	4491897	185	3.5	2.0	Aluvião
108	poço	540025	4491750	185	3.6	7.0	Aluvião
109	poço	540225	4491575	185	5.2	4.0	Terraço
110	poço	540575	4491450	185	7.9	3.0	G. Requeixo

# C.8. Inventário dos pontos de água (continuação)

Ref. Pto água	Tipo Pto água	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Mapa 1:25000	Características captação (m)		Formação captada
					profund.	diâmetro	
111	poço	539675	4491725	185	6.1	2.5	G. Requeixo
112	poço	539425	4490300	196	4.4	3.0	G. Oiã
113	poço	533600	4487025	196	3.6	4.0	G. Oiã
114	poço	534825	4489525	196	4.3	4.5	G. Verba
115	poço	534350	4489800	196	5.8	4.5	G. Verba
116	poço	534300	4490200	196	3.4	2.0	G. Verba
117	poço	534825	4491450	185	5.8	3.5	G. Verba
118	poço	536500	4491825	185		2.0	G. Oiã
119	poço	537000	4491525	185	3.5	4.0	G. Oiã
120	poço	541850	4492700	186	8.1	4.0	G. Eirol
121	poço	542375	4492550	186	13.0	1.0	G. Eirol
122	poço	543020	4488600	197	7.0		Terraço
123	poço	543450	4488425	197	10.9	5.0	G. Requeixo
124	poço	544025	4487525	197	3.3	2.0	G. Eirol
125	poço	539050	4489525	196	6.2	2.0	G. Oiã
126	poço	542926	4488455	197	6.0	4.0	Terraço
127	furo	537975	4489925	196			G. Oiã
128	poço	538500	4491475	185			Terraço
129	poço	538425	4491725	185			G. Oiã
130	poço	541525	4492775	186			Aluvião
131	fonte	539700	4493300	185			G. Requeixo
132	poço	539000	4492525	185			G. Requeixo
133	poço	540025	4490950	196			G. Furadouro
134	fonte	540654	4485408	196			G. Requeixo
135	poço	538550	4491550	185	7.4		Terraço
136	poço	538850	4492000	185			G. Requeixo
137	poço	538700	4491900	185			G. Oiã
138	poço	538550	4492200	185	12.0		G. Oiã e G. Furadouro?
139	poço	538650	4492225	185			G. Requeixo
140	poço	539625	4492875	185			G. Requeixo
141	poço	538350	4490950	196			Terraço
142	poço	538350	4490875	196			Terraço
143	poço	538600	4490675	196			G. Furadouro
144	poço	539467	4491909	185			G. Requeixo
145	poço	540133	4491925	185			Aluvião
146	furo	540725	4485575	196	80.0		G. Requeixo
147	fonte	533825	4487100	196			G. Oiã
148	fonte	534975	4492000	185			G. Oiã e/ou G. Verba?
149	fonte	534200	4491825	185			Terraço
150	poço	539900	4489450	196			G. Oiã
151	fonte	539950	4493875	185			G. Requeixo
152	fonte	536400	4492050	185			Terraço
153	poço	540650	4490625	196	6.5	2.7	G. Requeixo
154	furo	540350	4490375	196	100.0	0.2	G. Oiã e G. Furadouro
155	lagoa	542375	4491075	197			
156	rio	542200	4493100	186			
157	poço	540025	4494275	185			G. Eirol
158	fonte	539725	4494550	185			G. Requeixo
159	poço	539400	4494725	185			G. Requeixo
160	poço	539225	4494725	185			G. Requeixo
161	poço	539125	4494875	185			G. Oiã
162	poço	538725	4494525	185			G. Requeixo
163	poço	536450	4494125	185			G. Furadouro
164	poço	537400	4493500	185			Terraço
165	poço	537575	4492575	185			G. Oiã

**C.9. Inventário dos pontos de água (continuação)**

Ref. Pto água	Tipo Pto água	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Mapa 1:25000	Características captação (m)		Formação captada
					profund.	diâmetro	
166	rio	537100	4490650	196			
167	lagoa	539350	4491775	185			
168	poço	541425	4490975	196			G. Requeixo
169	poço	541075	4489075	196			G. Requeixo
170	poço	541000	4489300	196			G. Requeixo
171	poço	534825	4482625	196			Terraço
172	poço	534525	4482375	196			Terraço
173	poço	533750	4482325	196			Terraço
174	poço	533300	4482550	196			G. Verba
175	poço	532575	4482675	196			Terraço
176	poço	533525	4482725	196			Terraço
177	poço	534250	4483650	196			Terraço
178	poço	534150	4483950	196			Terraço
179	poço	532950	4485275	196			Terraço
180	poço	531675	4486100	196			Terraço
181	poço	530925	4487225	196			Terraço
182	poço	531150	4488475	196			Terraço
183	poço	530200	4489875	196			Terraço
184	poço	529225	4489600	196			Terraço
185	poço	531475	4490425	196			Terraço
186	poço	532000	4490150	196			Terraço
187	fonte	532125	4490375	196			Terraço
188	poço	532250	4490300	196			Terraço
189	fonte	532600	4490475	196			Terraço
190	poço	533925	4489275	196			Terraço
191	fonte	534050	4489150	196			G. Verba
192	poço	533850	4488925	196			Terraço
193	poço	534300	4488050	196			Terraço
194	fonte	534275	4488225	196			Terraço
195	poço	535450	4488350	196			G. Verba
196	poço	533550	4487650	196			G. Oiã
197	fonte	535641	4487256	196			G. Requeixo
198	poço	537125	4487125	196			Terraço
199	poço	536775	4488250	196			G. Oiã
200	poço	536450	4488825	196			Aluvião
201	poço	536375	4488800	196			Terraço
202	nascente	536225	4488975	196			G. Verba
203	poço	536138	4488558	196			G. Verba
204	poço	535525	4489675	196			G. Verba
205	fonte	535613	4489928	196			G. Verba
206	fonte	535125	4490100	196			G. Verba
207	fonte	533450	4486275	196			Terraço
208	poço	533300	4486100	196			Terraço
209	poço	536650	4485350	196			Terraço
210	poço	536925	4485425	196			Terraço
211	poço	537200	4485975	196			Terraço
212	poço	538275	4486375	196			Terraço
213	poço	538450	4484450	196			Terraço
214	poço	537200	4482500	196			Terraço
215	fonte	533050	4481800	196			Terraço
216	fonte	536850	4488200	196			G. Furadouro
217	fonte	536950	4488225	196			G. Furadouro
218	furo	538625	4490225	196			G. Furadouro+G. Req.+Calc. Jurássicos
219	poço	538975	4490075	196			G. Furadouro
220	fonte	537550	4483650	196			Terraço

**C.10. Inventário dos pontos de água (continuação)**

Ref. Pto água	Tipo Pto água	UTM_X (m)	UTM_Y (m)	Mapa 1:25000	Características captação (m)		Formação captada
					profund.	diâmetro	
221	poço	537625	4483150	196			Terraço
222	poço	537750	4482150	196			Terraço
223	poço	537175	4481175	196			G. Oiã
224	poço	539400	4481825	196			Terraço
225	fonte	539425	4481775	196			Terraço
226	fonte	539825	4482825	196			G. Furadouro
227	fonte	540675	4482900	196			G. Oiã
228	fonte	540950	4483325	196			Terraço
229	poço	541075	4483160	196			Terraço
230	poço	541600	4482450	196			Terraço
231	poço	541825	4482475	196			Terraço
232	poço	542450	4481350	197			Terraço
233	poço	542300	4481500	197			Terraço
234	poço	543625	4481350	197			Terraço
235	poço	545675	4481900	197			Terraço
236	poço	545175	4482725	197			Formação Aguada
237	poço	545250	4481975	197			Formação Aguada
238	poço	544125	4482950	197			Terraço
239	poço	543550	4483050	197			Terraço
240	fonte	542925	4484525	197			Terraço
241	poço	544750	4484000	197			Formação Aguada
242	fonte	545100	4484100	197			Formação Aguada
243	poço	545300	4485025	197			Aluvião
244	poço	544975	4485600	197			Aluvião
245	poço	543775	4486000	197			Aluvião
246	poço	543650	4485700	197			Aluvião
247	poço	543250	4486425	197			Terraço
248	poço	543450	4486700	197			Terraço
249	fonte	545500	4486600	197			G. Eirol
250	poço	539750	4488050	196			Terraço
251	poço	539675	4487725	196			Terraço
252	fonte	539200	4487675	196			G. Furadouro
253	poço	534700	4486250	196			Terraço
254	poço	533925	4484275	196			Terraço
255	poço	535050	4483125	196			Terraço
256	fonte	535825	4484525	196			Terraço
257	poço	536275	4484725	196			Terraço
258	fonte	536100	4483075	196			Terraço
259	poço	535975	4483125	196			Terraço
260	poço	537025	4484175	196			Terraço
261	fonte	538550	4484000	196			G. Oiã
262	poço	537675	4482750	196			Terraço
263	lagoa	538025	4491100	196			
264	lagoa	538200	4491025	196			
265	nascente	538268	4490947	196			Terraço
266	nascente	538247	4490906	196			Terraço
267	nascente	538450	4491082	196			Terraço
268	furo	540400	4490475	196	100.0	0.2	G. Furadouro+G. Req.+Calc. Jurássicos
269	poço	540425	4490475	196	8.0		G. Furadouro
270	furo	540450	4490650	196	92.0	0.2	G. Requeixo
271	poço	540475	4490625	196	6.7	2.0	G. Requeixo
272	fonte	540071	4490527	196			Terraço
273	furo	539870	4490872	196	70.0	0.2	G. Furadouro e G. Requeixo
274	furo	540025	4490150	196	100.0	0.2	G. Oiã e G. Furadouro
275	Efluente	538690	4490486	196			
276	nascente	539300	4492825	185			G. Requeixo
277	furo	538544	4490424	196			G. Oiã+G. Furadouro+G. Requeixo
278	piezómetro	540621	4490612	196			G. Requeixo
279	ribeira	537838	4490567	196			
280	ribeira	541299	4489853	196			

**C.11. Identificação das amostras colhidas na campanha de Abril de 2006**

Ref. Amostra	Ref. Pto. água	Toponímia	Tipo de ponto de água	Litologia drenada/captada	Influências antrópicas prováveis
1	127	CERALFA	Furo (70 m)	"Grés do Furadouro"	
2	131	Fonte Casal	Fonte	"Grés de Requeixo"	Agricultura e águas residuais domésticas
3	134	Fonte Prof. C. Rosa	Fonte	"Grés de Requeixo"	Agricultura e águas residuais domésticas
4	146	Água em Poças	Furo (80 m)	"Grés de Requeixo"	
5	153	Fermentelos	Poço	"Grés de Requeixo"	Agricultura/pecuária
6	154	Fermentelos	Furo (100 m)	"Grés de Oiã", "Grés do Furadouro" e "Grés de Requeixo"	
7	155	Espinhel	Lagoa	"Grés de Eirol"	
8	156	Ponte Pedrinha	Rio Águeda	13% rochas mesoceno-zóicas e 87% rochas metamórficas e granitos	
9	166	Rib.ª Pano	Ribeira	Grés e calcários cretácicos e terraços quaternários	Agricultura, áreas urbanas e industriais
10	167	Olho do Bico	Lagoa ("olho")	Grés e calcários cretácicos e terraços quaternários	Agricultura, áreas urbanas e industriais
11	168	Fermentelos	Poço	"Grés de Requeixo"	Agricultura
12	169	Rego	Poço	"Grés de Requeixo"	Agricultura
13	197	Fonte S. Domingues	Fonte	"Grés de Requeixo"	
14	218	Fermentelos	Furo (124 m)	"Grés do Furadouro", "Grés de Requeixo" e calcários jurássico	
15	219	Fermentelos	Poço com drenos	"Grés do Furadouro"	
16	56	Fonte Seara	Fonte	"Grés de Oiã" e "Grés do Furadouro"	
17	63	Fermentelos	Poço	"Grés de Requeixo"	Agricultura/pecuária e águas residuais domésticas
18	64	Fermentelos	Lagoa	81% rochas mesoceno-zóicas e 19% rochas metamórficas e granitos	Ver mapa de uso do solo em anexo
19	65	Piedade	Rio Cértima (entrada)	81% rochas mesoceno-zóicas e 19% rochas metamórficas e granitos	Ver mapa de uso do solo em anexo
20	67	Requeixo	Furo (180 m)	"Grés de Requeixo" e "Grés de Eirol"	
21	69	Ponte Requeixo	Rio Cértima (saída)	81% rochas mesoceno-zóicas e 19% rochas metamórficas e granitos	Ver mapa de uso do solo em anexo
22	7	Fonte Cilha	Fonte	"Grés do Furadouro"	
23	70	Olho de S. Paio	Lagoa ("olho")	81% rochas mesoceno-zóicas e 19% rochas metamórficas e granitos	Agricultura, áreas urbanas e industriais
24	80	Óis da Ribeira	Lagoa	81% rochas mesoceno-zóicas e 19% rochas metamórficas e granitos	Ver mapa de uso do solo em anexo
25	91	Recamonde	Rio Levira	81% rochas mesoceno-zóicas e 19% rochas metamórficas e granitos	Ver mapa de uso do solo em anexo
26	94	Lagoa (Norte)	Lagoa	Calcários jurássicos, série sedimentar cretácica e terraços quaternários	Ver mapa de uso do solo em anexo
27	263	Olho grande Porto da Riba	Lagoa ("olho")	Grés e calcários cretácicos e terraços quaternários	Agricultura, áreas urbanas e industriais
28	202	Cruzes	Nascente	"Grés de Verba" e terraços quaternários	Electrodomésticos oxidados



# C.12. Resultados das análises químicas da campanha de Abril de 2006

Ref. pto. água	127	131	134	146	153	154	155	156	166
Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Data	26-04-06	26-04-06	26-04-06	26-04-06	19-04-06	19-04-06	19-04-06	19-04-06	20-04-06
T (°C)	19.6	15.7	14.8	19.4	15.3	19.3	20.2	15.8	18.2
pH	5.1	5.8	6.0	5.5	6.6	7.2	7.1	6.2	6.7
Eh (mV)	380	361	337	374	311	255	266	357	319
O <sub>2</sub> (mg/L)	5.5	0.5	1.6	1.5	2.0	0.0	1.8	11.1	0.0
C.E. (µS/cm)	132	504	261	273	638	579	550	96	478
Na (mg/L)	13.1	29.4	15.8	16.9	25.3	55.0	17.3	6.8	28.4
K (mg/L)	3.3	8.7	3.8	12.6	2.3	12.5	5.0	2.0	5.1
Ca (mg/L)	1.7	39.8	19.3	11.5	78.2	26.8	58.7	4.1	32.6
Mg (mg/L)	3.0	12.0	5.5	6.1	4.4	11.7	10.2	1.6	10.4
Si (mg/L)	5.6	3.6	3.9	6.8	5.3	5.9	1.2	3.5	2.0
Cl (mg/L)	24.0	42.4	26.6	29.1	25.9	45.0	25.7	9.3	44.5
HCO <sub>3</sub> (mg/L)	5.5	23.8	32.9	20.1	145.1	156.1	162.8	15.8	95.7
SO <sub>4</sub> (mg/L)	6.2	59.4	36.0	22.0	52.3	44.2	55.6	5.9	44.0
NO <sub>3</sub> (mg/L)	8.23	86.32	13.19	25.37	72.60	<0.04	4.25	5.84	1.90
NO <sub>2</sub> (mg/L)	<0.02	0.05	<0.02	0.64	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
NH <sub>4</sub> (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ag (µg/L)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Al (µg/L)	14	5	7	49	3	<2	11	36	99
As (µg/L)	0.12	0.22	0.14	0.11	0.25	3.59	1.75	0.45	1.47
Au (µg/L)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
B (µg/L)	4	24	37	41	125	285	57	11	37
Ba (µg/L)	49.4	65.6	47.7	121	43.7	23.9	36.7	9.3	39.8
Be (µg/L)	1.8	0.2	0.1	5.6	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
Bi (µg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Br (µg/L)	216	262	174	119	213	160	148	57	254
Cd (µg/L)	0.02	0.04	<0.01	0.04	0.01	<0.01	<0.01	0.14	0.01
Co (µg/L)	1.19	0.498	0.128	1.79	0.055	0.142	0.811	0.516	0.535
Cr (µg/L)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cs (µg/L)	0.542	0.586	0.194	0.726	0.078	0.277	0.017	0.049	0.025
Cu (µg/L)	33.3	1.1	0.5	25.2	47.9	0.5	1	7	5.4
F (µg/L)	<10	<20	<10	110	<20	480	100	<10	160
Fe (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	450	80	940
Ga (µg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Ge (µg/L)	0.03	0.03	0.01	0.07	0.02	0.13	<0.01	<0.01	<0.01
Hf (µg/L)	0.001	0.003	0.003	0.002	<0.001	<0.001	0.002	0.001	0.011
I (µg/L)	11	47	39	24	20	17	64	13	81
In (µg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Li (µg/L)	8	2	1	69	<1	70	3	2	3
Mn (µg/L)	5.4	2.3	17.1	9.1	7.1	11.4	263	14.9	61
Mo (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.5	<0.1	0.1
Ni (µg/L)	1.4	0.9	<0.3	1.5	0.6	0.5	3.4	4	1.4
Nb (µg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.009
Os (µg/L)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb (µg/L)	2.25	0.07	0.04	1.18	0.79	0.18	0.33	0.19	0.58
Pd (µg/L)	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01
Pt (µg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Rb (µg/L)	18.2	16.4	10.9	20.4	5.35	12.7	7.3	3.63	6.85
Re (µg/L)	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.002
Ru (µg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sb (µg/L)	<0.01	0.03	0.02	0.01	0.05	0.02	0.13	0.04	0.12
Sc (µg/L)	1	<1	1	2	1	2	<1	1	<1
Se (µg/L)	0.8	2.5	1.2	2.5	2.2	1.2	1.8	1.5	1.6
Sn (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sr (µg/L)	23.7	122	60.8	69.5	260	142	260	14.8	108
Ta (µg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Te (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Th (µg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.002	0.088
Ti (µg/L)	0.6	0.5	0.5	0.8	0.7	0.9	0.6	0.7	1.4
Tl (µg/L)	0.279	0.186	0.087	0.183	0.03	0.019	0.005	0.012	0.01
U (µg/L)	0.883	2.53	0.357	6.86	1.42	1.76	0.822	0.047	0.333
V (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.4	0.2	0.2	<0.1	0.4
W (µg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	0.75	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Y (µg/L)	0.858	2.13	0.778	0.61	0.078	0.004	0.041	0.056	0.223
Zn (µg/L)	38.3	4.3	4	91	68.8	2.6	4.1	38	6.9
Zr (µg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.02	0.38

**C.13. Resultados das análises químicas da campanha de Abril de 2006**

Ref. pto. água	167	168	169	197	218	219	56	63	64
Amostra	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Data	20-04-06	20-04-06	20-04-06	21-04-06	26-04-06	26-04-06	21-04-06	19-04-06	19-04-06
T (°C)	17.5	16.5	15.3	15.5	19	17	15.5	15.7	19.2
pH	6.8	6.4	6.3	5.2	7.3	4.9	5.5	6.0	7.8
Eh (mV)	324	335	400	397	208	392	354	313	290
O <sub>2</sub> (mg/L)	0.9	9.0	1.1	5.8	0.0	7.0	9.4	3.3	7.8
C.E. (µS/cm)	442	696	541	135	890	215	97	651	563
Na (mg/L)	29.9	23.2	13.8	17.2	113.0	17.7	11.4	27.2	17.4
K (mg/L)	5.2	10.5	12.9	1.4	10.4	3.6	1.0	9.7	4.7
Ca (mg/L)	29.3	73.9	62.0	0.8	42.8	11.6	1.3	66.5	60.9
Mg (mg/L)	8.5	6.4	6.0	1.9	14.7	3.7	2.2	4.9	10.0
Si (mg/L)	0.8	3.5	3.9	6.4	5.3	4.6	4.0	4.6	2.6
Cl (mg/L)	38.7	32.1	30.3	26.2	74.8	25.6	17.9	37.1	26.4
HCO <sub>3</sub> (mg/L)	87.2	106.1	74.4	8.2	123.1	4.3	8.0	56.1	135.3
SO <sub>4</sub> (mg/L)	45.0	58.7	33.1	6.7	195.0	36.4	3.3	68.6	67.6
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0.22	114.65	94.73	<0.04	<0.04	16.91	2.48	119.97	10.76
NO <sub>2</sub> (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.10	0.10
NH <sub>4</sub> (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ag (µg/L)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Al (µg/L)	42	2	33	24	4	280	7	2	54
As (µg/L)	1.11	0.18	0.71	0.12	2.29	0.28	0.06	0.3	1.14
Au (µg/L)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
B (µg/L)	96	78	10	<3	317	19	4	56	51
Ba (µg/L)	44.5	60.5	60.7	35.1	32.7	63.1	14.7	38.5	37.5
Be (µg/L)	<0.1	<0.1	0.2	1.1	<0.1	3.5	0.1	<0.1	<0.1
Bi (µg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Br (µg/L)	256	168	199	221	264	293	170	199	139
Cd (µg/L)	<0.01	0.01	0.04	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.01	<0.01
Co (µg/L)	1.02	0.34	0.447	1.54	1.44	5.25	0.091	0.103	0.175
Cr (µg/L)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cs (µg/L)	0.02	0.375	0.579	0.119	0.344	0.887	0.081	0.233	0.026
Cu (µg/L)	2.4	3.1	5.8	1.7	0.5	3.9	<0.2	9.5	2.3
F (µg/L)	210	<20	180	<10	530	50	<10	<20	100
Fe (µg/L)	720	<10	<10	<10	350	20	<10	<10	190
Ga (µg/L)	0.02	<0.01	0.05	<0.01	0.02	0.11	<0.01	<0.01	0.02
Ge (µg/L)	<0.01	0.02	0.03	0.01	0.16	0.07	<0.01	0.01	0.01
Hf (µg/L)	0.006	<0.001	0.012	<0.001	<0.001	0.029	<0.001	<0.001	0.002
I (µg/L)	76	41	35	14	16	37	8	31	41
In (µg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Li (µg/L)	2	<1	6	4	80	4	<1	<1	3
Mn (µg/L)	44.8	0.8	33.2	0.7	16.5	25.4	1.9	0.6	34.7
Mo (µg/L)	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5
Ni (µg/L)	1.2	1.1	0.7	0.9	6	9.1	<0.3	0.4	2.8
Nb (µg/L)	0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Os (µg/L)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb (µg/L)	0.35	0.09	0.21	0.13	0.03	4.16	0.06	1.17	1.79
Pd (µg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Pt (µg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Rb (µg/L)	8.17	15.4	15.1	5.55	11.4	16.3	4.27	17.2	6.38
Re (µg/L)	0.002	0.002	0.002	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.003
Ru (µg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sb (µg/L)	0.11	0.01	0.08	0.02	0.04	0.02	<0.01	0.05	0.14
Sc (µg/L)	<1	1	1	2	1	2	1	1	<1
Se (µg/L)	1.8	3.1	2.1	1.8	2.7	3.4	2.2	3.7	2.6
Sn (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sr (µg/L)	93.5	182	122	10.9	350	52.1	10.1	149	270
Ta (µg/L)	0.001	0.002	0.002	<0.001	<0.001	0.004	0.001	<0.001	<0.001
Te (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Th (µg/L)	0.051	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
Ti (µg/L)	1.1	0.6	0.5	0.8	0.8	0.6	0.5	0.7	1.4
Tl (µg/L)	0.003	0.188	0.155	0.054	0.018	0.421	0.03	0.05	0.01
U (µg/L)	0.178	0.895	1.06	0.528	10.8	1.53	0.066	0.227	0.859
V (µg/L)	0.3	<0.1	1.2	<0.1	1.1	<0.1	<0.1	0.2	0.5
W (µg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Y (µg/L)	0.128	0.46	5.49	0.135	0.05	11.4	0.121	0.697	0.089
Zn (µg/L)	7	74.1	23	3.7	58.1	19.6	2	40.1	5.4
Zr (µg/L)	0.3	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06

# C.14. Resultados das análises químicas da campanha de Abril de 2006

Ref. pto. água	65	67	69	7	70	80	91	94	263	202
Amostra	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Data	19-04-06	26-04-06	20-04-06	26-04-06	20-04-06	26-04-06	19-04-06	20-04-06	27-04-06	27-04-06
T (°C)	18.7	21.2	19.4	16.2	17.6	23.6	14.3	19.5	16.5	14.2
pH	7.3	7.8	7.5	4.9	6.6	7.2	7.2	7.9	6.6	5.0
Eh (mV)	302	321	287	388	322	348	279	323	318	349
O <sub>2</sub> (mg/L)	7.0	0.6	8.3	3.4	0.4	5.6	8.2	0.0	1.8	0.0
C.E. (µS/cm)	586	501	551	128	366	459	611	495	361	100
Na (mg/L)	18.9	39.0	18.1	13.0	23.8	15.1	20.7	16.8	34.6	15.4
K (mg/L)	4.1	8.6	4.7	1.3	4.4	4.0	6.1	4.4	4.8	1.3
Ca (mg/L)	63.8	25.6	58.6	1.7	26.4	52.6	68.1	61.0	31.7	1.5
Mg (mg/L)	11.0	13.2	9.8	3.9	7.2	8.3	11.2	9.8	9.4	2.5
Si (mg/L)	3.1	5.5	2.3	3.9	1.3	2.8	4.3	2.2	2.9	5.2
Cl (mg/L)	27.2	32.9	26.9	23.0	32.0	22.8	32.1	26.1	40.5	27.5
HCO <sub>3</sub> (mg/L)	142.6	95.7	142.6	2.9	81.1	126.8	128.6	144.5	90.8	1.5
SO <sub>4</sub> (mg/L)	69.1	75.4	64.5	11.4	32.5	52.7	91.3	67.5	48.7	8.4
NO <sub>3</sub> (mg/L)	7.97	4.87	7.08	6.24	0.18	4.87	24.26	8.19	3.23	<0.04
NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.10	<0.02	0.10	<0.02	<0.02	0.10	0.40	0.10	<0.02	<0.02
NH <sub>4</sub> (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
Aa (µg/L)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Al (µg/L)	36	43	25	60	72	6	54	6	41	235
As (µg/L)	1.11	80.8	1.19	0.08	1.57	1.09	0.55	0.93	1.27	0.98
Au (µg/L)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
B (µg/L)	55	77	53	5	60	42	49	50	117	<3
Ba (µg/L)	40	36	36.7	27.7	35.1	33	42	36.6	50.2	41.8
Be (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	1.3
Bi (µg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Br (µg/L)	166	119	151	158	206	129	187	139	293	217
Cd (µg/L)	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	0.63
Co (µg/L)	0.698	<0.005	0.224	0.923	0.598	0.2	0.707	0.118	2.58	0.538
Cr (µg/L)	<0.5	2.3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cs (µg/L)	0.023	0.737	0.021	0.197	0.023	0.017	0.057	0.012	0.083	0.037
Cu (µg/L)	2.8	0.4	1.4	0.7	2.8	1.8	2.1	1.2	1.7	0.7
F (µg/L)	100	200	100	<10	170	100	100	100	160	40
Fe (µg/L)	260	<10	70	<10	1300	30	110	<10	1090	470
Ga (µg/L)	0.02	0.02	0.02	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.01	0.03
Ge (µg/L)	0.02	0.22	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.02	0.01
Hf (µg/L)	0.004	<0.001	0.002	0.003	0.009	0.002	0.002	0.001	0.007	0.018
I (µg/L)	54	10	47	11	69	28	35	56	100	22
In (µg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Li (µg/L)	3	45	3	1	2	2	3	3	3	3
Mn (µg/L)	154	0.2	46.7	2.9	85.9	85.2	111	8.4	130	2.5
Mo (µg/L)	0.5	1.3	0.5	<0.1	0.2	0.4	0.1	0.5	0.1	<0.1
Ni (µg/L)	5.7	0.6	2.4	1	1.6	2.2	1.8	2.3	1.3	1.4
Nb (µg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.008	<0.005	<0.005	<0.005	0.007	<0.005
Os (µg/L)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb (µg/L)	0.56	0.03	0.26	0.23	0.8	0.15	0.17	0.08	0.4	0.36
Pd (µg/L)	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01
Pt (µg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Rb (µg/L)	5.79	11.3	6.66	5.9	7.38	5.59	11.3	6.05	9.65	4.94
Re (µg/L)	0.002	0.001	0.002	<0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	<0.001
Ru (µg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sb (µg/L)	0.13	0.18	0.15	<0.01	0.1	0.13	0.1	0.14	0.08	0.05
Sc (µg/L)	<1	2	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	2
Se (µg/L)	2.4	4.6	2.6	2.5	2.6	2.4	2.4	2.5	2.7	2.2
Sn (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3	3.4
Sr (µg/L)	280	270	250	19	87.2	180	260	270	103	16.4
Ta (µg/L)	<0.001	<0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001
Te (µg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Th (µg/L)	0.007	<0.001	0.003	<0.001	0.05	0.002	0.004	<0.001	0.039	0.135
Ti (µg/L)	1.3	0.8	1	0.7	1.5	0.7	0.7	0.5	1.1	1.5
Tl (µg/L)	0.021	<0.001	0.007	0.064	0.004	0.011	0.053	0.007	0.036	0.039
U (µg/L)	1.02	7.84	0.849	0.148	0.189	0.641	1.4	0.894	0.329	0.294
V (µg/L)	0.3	7.4	0.4	<0.1	0.3	0.3	<0.1	0.3	<0.1	0.3
W (µg/L)	<0.02	0.1	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Y (µg/L)	0.079	0.017	0.038	0.695	0.137	0.066	0.067	0.025	0.198	0.431
Zn (µg/L)	7.1	9	6.5	2.8	7.7	1.8	7.8	1.6	8.4	6.9
Zr (µg/L)	0.19	<0.01	0.1	<0.01	0.25	0.06	0.07	0.05	0.21	0.57

**C.15. Estatística univariada das águas superficiais – Abril de 2006**

Parâmetro	nº valores	mínimo	percentil 25	média	mediana	percentil 75	máximo	desvio padrão
Cl (mg/L)	12	9.3	26.0	29.3	27.1	33.8	44.5	9.3
HCO <sub>3</sub> (mg/L)	12	15.8	89.9	112.8	127.7	142.6	162.8	40.5
NO <sub>3</sub> (mg/L)	12	0.2	2.9	6.6	5.4	8.0	24.3	6.5
SO <sub>4</sub> (mg/L)	12	5.9	44.8	53.7	54.2	67.5	91.3	21.5
Mg (mg/L)	12	1.6	8.5	9.0	9.8	10.3	11.2	2.6
K (mg/L)	12	2.0	4.3	4.5	4.7	5.0	6.1	1.0
Na (mg/L)	12	6.8	17.2	20.6	18.5	25.0	34.6	7.5
Ca (mg/L)	12	4.1	31.1	45.7	55.6	60.9	68.1	20.0
Si (mg/L)	12	0.8	1.8	2.4	2.5	3.0	4.3	1.0
Al (µg/L)	12	6.0	21.5	40.2	38.5	54.0	99.0	27.5
As (µg/L)	12	0.5	1.1	1.1	1.1	1.3	1.8	0.4
B (µg/L)	12	11.0	47.3	56.5	52.0	57.8	117.0	27.0
Ba (µg/L)	12	9.3	36.2	36.8	37.1	40.5	50.2	9.8
Be (µg/L)	3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1
Br (µg/L)	12	57.0	139.0	177.1	158.5	218.0	293.0	65.9
Cd (µg/L)	4	0.01	0.01	0.06	0.05	0.10	0.14	0.06
Co (µg/L)	12	0.1	0.2	0.7	0.6	0.7	2.6	0.7
Cs (µg/L)	12	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.08	0.02
Cu (µg/L)	12	1.0	1.6	2.7	2.2	2.8	7.0	1.8
F (µg/L)	11	100.0	100.0	127.3	100.0	160.0	210.0	40.0
Fe (µg/L)	11	30.0	95.0	476.4	260.0	830.0	1300.0	459.8
I (µg/L)	12	13.0	39.5	55.3	55.0	70.8	100.0	24.4
Li (µg/L)	12	2.0	2.0	2.7	3.0	3.0	3.0	0.5
Mn (µg/L)	12	8.4	42.3	86.6	73.1	115.8	263.0	71.4
Ni (µg/L)	12	1.2	1.6	2.5	2.3	3.0	5.7	1.3
Pb (µg/L)	12	0.1	0.2	0.5	0.3	0.6	1.8	0.5
Rb (µg/L)	12	3.6	6.0	7.1	6.8	7.6	11.3	2.0
Sn (µg/L)	12	<0.1	<0.1	0.0	<0.1	<0.1	1.3	0.4
Ti (µg/L)	12	0.5	0.7	1.0	1.1	1.3	1.5	0.4
U (µg/L)	12	0.0	0.3	0.6	0.7	0.9	1.4	0.4
Zn (µg/L)	12	1.6	5.1	8.5	7.0	7.7	38.0	9.6
Zr (µg/L)	12	0.02	0.06	0.15	0.10	0.22	0.38	0.11
Eh (mV)	12	266	289	311	318	323	357	27
CE (µS/cm)	12	96	423	463	487	554	611	141
pH	12	6.2	6.7	7.1	7.1	7.3	7.9	0.5
T (°C)	12	14.3	17.3	18.4	18.5	19.4	23.6	2.4

# C.16. Estatística univariada do aquífero freático – Abril de 2006

Parâmetro	nº valores	mínimo	percentil 25	média	mediana	percentil 75	máximo	desvio padrão
Cl (mg/L)	11	17.9	25.8	28.6	26.6	31.2	42.4	6.7
HCO3 (mg/L)	11	1.5	6.1	42.1	23.8	65.2	145.1	48.3
NO3 (mg/L)	10	0.0	8.0	52.7	44.8	92.6	120.0	49.4
SO4 (mg/L)	11	3.3	9.9	34.0	36.0	55.5	68.6	23.8
Mg (mg/L)	11	1.9	3.1	4.9	4.4	5.8	12.0	2.8
K (mg/L)	11	1.0	1.4	5.1	3.6	9.2	12.9	4.4
Na (mg/L)	11	11.4	14.6	19.0	17.2	24.3	29.4	6.2
Ca (mg/L)	11	0.8	1.6	32.4	19.3	64.3	78.2	32.2
Si (mg/L)	11	3.5	3.9	4.4	4.0	4.9	6.4	0.9
Al (µg/L)	11	2.0	4.0	59.8	7.0	46.5	280.0	99.8
As (µg/L)	11	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	1.0	0.3
B (µg/L)	9	4.0	10.0	39.8	24.0	56.0	125.0	40.4
Ba (µg/L)	11	14.7	36.8	45.4	43.7	60.6	65.6	16.2
Be (µg/L)	8	0.1	0.2	0.9	0.4	1.2	3.5	1.2
Br (µg/L)	11	158.0	172.0	206.7	199.0	219.0	293.0	41.5
Cd (µg/L)	8	0.01	0.01	0.10	0.02	0.04	0.63	0.22
Co (µg/L)	11	0.1	0.1	0.9	0.4	0.7	5.3	1.5
Cs (µg/L)	11	0.04	0.10	0.31	0.20	0.48	0.89	0.27
Cu (µg/L)	10	0.5	0.8	7.5	2.4	5.3	47.9	14.5
F (µg/L)	3	40.0	45.0	90.0	50.0	115.0	180.0	78.1
Fe (µg/L)	2	20.0	132.5	245.0	245.0	357.5	470.0	318.2
I (µg/L)	11	8.0	17.0	27.7	31.0	38.0	47.0	13.3
Li (µg/L)	7	1.0	1.5	3.0	3.0	4.0	6.0	1.8
Mn (µg/L)	11	0.6	1.4	8.6	2.5	12.1	33.2	11.4
Ni (µg/L)	9	0.4	0.7	1.8	0.9	1.1	9.1	2.8
Pb (µg/L)	11	0.0	0.1	0.7	0.2	0.6	4.2	1.2
Rb (µg/L)	11	4.3	5.5	10.7	10.9	15.9	17.2	5.5
Sn (µg/L)	11	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	3.4	1.1
Ti (µg/L)	11	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	1.5	0.3
U (µg/L)	11	0.1	0.3	0.8	0.5	1.2	2.5	0.8
Zn (µg/L)	11	2.0	3.9	22.7	6.9	31.6	74.1	26.8
Zr (µg/L)	2	0.01	0.15	0.29	0.29	0.43	0.57	0.40
Eh (mV)	11	311	336	358	354	390	400	33
CE (µS/cm)	11	97	131	360	261	590	696	245
pH	11	4.9	5.1	5.7	5.8	6.2	6.6	0.6
T (°C)	11	14.2	15.3	15.6	15.5	16.0	17.0	0.8

**C.17. Estatística univariada do aquífero semi-confinado – Abril de 2006**

Parâmetro	nº valores	mínimo	percentil 25	média	mediana	percentil 75	máximo	desvio padrão
Cl (mg/L)	5	24.0	29.1	41.2	32.9	45.0	74.8	20.3
HCO <sub>3</sub> (mg/L)	5	5.5	20.1	80.1	95.7	123.1	156.1	65.3
NO <sub>3</sub> (mg/L)	3	4.9	6.6	12.8	8.2	16.8	25.4	11.0
SO <sub>4</sub> (mg/L)	5	6.2	22.0	68.6	44.2	75.4	195.0	75.3
Mg (mg/L)	5	3.0	6.1	9.7	11.7	13.2	14.7	5.0
K (mg/L)	5	3.3	8.6	9.5	10.4	12.5	12.6	3.8
Na (mg/L)	5	13.1	16.9	47.4	39.0	55.0	113.0	40.4
Ca (mg/L)	5	1.7	11.5	21.7	25.6	26.8	42.8	15.7
Si (mg/L)	5	5.3	5.5	5.8	5.6	5.9	6.8	0.6
Al (µg/L)	4	4.0	11.5	27.5	28.5	44.5	49.0	21.9
As (µg/L)	5	0.1	0.1	17.4	2.3	3.6	80.8	35.5
B (µg/L)	5	4.0	41.0	144.8	77.0	285.0	317.0	145.3
Ba (µg/L)	5	23.9	32.7	52.6	36.0	49.4	121.0	39.3
Be (µg/L)	2	1.8	2.8	3.7	3.7	4.7	5.6	2.7
Br (µg/L)	5	119.0	119.0	175.6	160.0	216.0	264.0	63.4
Cd (µg/L)	2	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.01
Co (µg/L)	4	0.1	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	0.7
Cs (µg/L)	5	0.28	0.34	0.53	0.54	0.73	0.74	0.21
Cu (µg/L)	5	0.4	0.5	12.0	0.5	25.2	33.3	16.0
F (µg/L)	4	110.0	177.5	330.0	340.0	492.5	530.0	206.4
Fe (µg/L)	1	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	0.0
I (µg/L)	5	10.0	11.0	15.6	16.0	17.0	24.0	5.6
Li (µg/L)	5	8.0	45.0	54.4	69.0	70.0	80.0	29.0
Mn (µg/L)	5	0.2	5.4	8.5	9.1	11.4	16.5	6.1
Ni (µg/L)	5	0.5	0.6	2.0	1.4	1.5	6.0	2.3
Pb (µg/L)	5	0.0	0.0	0.7	0.2	1.2	2.3	1.0
Rb (µg/L)	5	11.3	11.4	14.8	12.7	18.2	20.4	4.2
Sn (µg/L)	5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.0
Ti (µg/L)	5	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.1
U (µg/L)	5	0.9	1.8	5.6	6.9	7.8	10.8	4.2
Zn (µg/L)	5	2.6	9.0	39.8	38.3	58.1	91.0	36.4
Zr (µg/L)	0							
Eh (mV)	5	208	255	307	321	374	380	75
CE (µS/cm)	5	132	273	475	501	579	890	292
pH	5	5.1	5.5	6.6	7.2	7.3	7.8	1.2
T (°C)	5	19.0	19.3	19.7	19.4	19.6	21.2	0.9

**C.18. Valores mensais dos parâmetros físico-químicos**

Pto.	Nov-05	Dez-05	Jan-06	Fev-06	Mar-06	Abr-06	Mai-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Set-06	Out-06
C.E. (μS/cm)												
7	68	62	102	161	171	128	132	128	136	140	127	113
63	602	553	541	616	661	651	568	575	704	737	698	791
64	659	642	346	676	512	563	444	646	848	764	665	640
65	626	602	452	542	171	586	569	867	860	681	617	726
67	572	468	420	517	568	501	605	735	546	631	534	691
69	647	37	509	642	524	551	515	144	127	157	651	637
70	589	435	424	580	501	366	496	621	811	679	637	627
80	560	628	405	645	518	459	560	652	841	760	669	673
94	252		498	651	562	495	505	629	548	724	655	622
127			105	178	180	132	140	127	135	138	130	115
TDS (mg/L)												
7	47	44	72	113	120	90	92	90	95	98	89	79
63	421	387	379	431	463	456	397	403	493	516	489	552
64	462	449	242	474	359	394	310	453	594	535	465	448
65	438	421	317	378	120	410	398	607	602	477	432	508
67	401	328	294	362	398	350	422	514	382	442	374	484
69	453	26	356	449	367	386	360	101	89	110	456	446
70	412	304	297	406	351	256	347	435	567	475	446	439
80	392	440	283	451	363	321	392	456	589	532	468	471
94	177		349	456	394	282	354	440	384	506	459	436
127			74	125	126	93	98	89	94	97	91	81
pH												
7	4.9	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	5.1	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8
63	6.5	6.3	6.4	6.3	6.2	6.0	6.1	6.1	6.2	6.1	6.0	6.0
64	7.8	7.3	7.3	7.7	7.2	7.8	7.3	8.2	7.6	8.0	7.5	7.6
65	7.2	7.2	7.1	7.2	6.8	7.3	7.4	7.2	7.3	7.4	7.3	7.1
67	7.9	7.8	7.6	7.6	7.5	7.8	7.6	7.7	7.9	8.0	7.5	7.3
69	7.1	6.4	7.1	7.2	7.0	7.5	7.3	6.9	6.7	6.5	6.9	7.0
70	6.1	6.5	6.5	6.6	6.9	6.6	7.6	7.3	7.4	7.4	7.4	7.0
80	7.7	7.5	7.0	8.2	7.2	7.2	8.2	7.9	7.7	7.8	7.6	7.8
94	6.3		7.1	7.7	7.5	7.9	8.2	7.6	7.4	7.9	7.8	7.6
127			4.9	5.0	5.1	5.1	5.1	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1
OD (mg/L)												
7	1.2	1.5	2.0	2.4	2.2	3.4	4.9	3.5	2.7		1.7	2.2
63	7.0	4.5	4.0	4.6	3.3	3.3	4.2	4.4	0.0		3.9	3.0
64	9.2	4.8	8.8	6.6	2.8	7.8	4.0	7.3	0.6		1.3	7.0
65	3.6	2.8	4.0	5.2	2.2	7.0	0.0	0.9	2.5		3.8	3.3
67	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.6	0.8	0.4	0.2		0.0	0.0
69	3.8	7.1	4.8	5.5	2.5	8.3	5.3	2.1	1.9		0.0	1.3
70		0.0	1.4	0.0	0.7	0.4	0.2	3.5	1.6		3.8	3.2
80	7.0	0.0	2.5	10.9	2.7	5.6	10.8	5.0	1.3		3.4	7.0
94	0.1		2.7	5.9	4.1		2.9	2.5	0.8		4.6	5.2
127			5.4	4.7	5.5	5.5	5.2	5.1	0.0		4.5	4.6
Eh (mV)												
7	316	345	457	520	491	388	647	358		351	384	388
63	459	487	457	450	518	313	560	306		325	376	332
64	405	483	485	453	501	290	445	305		293	206	320
65	377	355	394	384	463	302		304		282	330	227
67	458	450	420	435	411	321	517	294		142		314
69	383	474	386	368	408	287		311		163	204	355
70	370	412	347	367	442	322		273		144	191	289
80	409	451	449	417	433	348		300		275	205	227
94	459		331	409	452	323		284		145	204	270
127			526	529	510	380	607	365		353	385	372
T (°C)												
7	16	15	14	14	15	16	16	17	18	17	17	17
63	15	15	13	14	15	16	16	17	19	18	18	18
64	10	11	10	14	15	19	24	28	31	28	22	19
65	12	11	10	14	15	19	22	23	25	24	19	18
67	21	21	21	21	21	21	21	21	22	20	19	19
69	11	11	9	13	15	19	23	26	28	24	21	19
70	12	9	9	11	15	18	24	24	27	22	21	18
80	12	11	10	13	15	24	26	27	30	25	22	20
94	11		9	12	15	20	25	25	26	23	22	18
127			18	18	18	20	19	19	20	19	18	18

**C.19. Concentração mensal dos iões analisados**

Pto.	Nov-05	Dez-05	Jan-06	Fev-06	Mar-06	Abr-06	Mai-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Set-06	Out-06
<b>Cl (mg/L)</b>												
7	24.0	14.2	19.1	16.3	15.5	17.3	23.4	21.1	20.6	19.3	20.0	14.1
63	31.3	24.0	29.9	31.1	28.2	31.1	32.5	33.1	35.5	33.9	36.0	44.7
64	35.7	28.5	28.2	31.1	18.8	19.9	31.0	37.1	34.7	33.9	29.5	33.6
65	36.5	25.5	26.1	31.1	15.9	20.7	32.8	39.7	36.3	32.0	29.0	37.4
67	40.2	22.2	28.8	27.2	12.7	26.9	35.4	31.7	31.0	25.9	28.7	41.0
69	41.0	7.3	31.1	32.5	19.2	24.5	31.8	12.0	13.4	13.1	28.6	32.7
70	55.5	34.0	39.2	46.4	24.3	27.7	36.2	36.1	35.6	29.1	29.1	34.9
80	37.7	26.8	26.7	30.1	19.3	18.8	30.9	35.2	37.3	33.1	29.1	34.4
94	27.2		27.6	32.2	43.1	21.8	32.5	27.5	27.6	33.5	28.7	34.9
127			20.1	19.2	18.2	19.3	24.3	21.5	20.5	18.6	19.3	22.4
<b>SO4 (mg/L)</b>												
7	13.1	12.0	13.9	12.9	13.2	12.4	14.2	15.2	15.0	13.2	15.3	14.1
63	107.1	92.8	101.7	92.7	76.5	82.8	92.8	88.5	89.7	92.9	111.0	113.7
64	140.3	145.0	121.8	147.5	68.4	82.1	109.7	155.2	156.8	151.7	150.4	134.4
65	135.5	131.0	93.6	143.1	57.2	84.1	136.8	228.4	150.0	104.8	132.8	153.7
67	129.7	95.0	102.4	90.0	46.0	90.1	142.6	219.6	109.4	142.6	136.2	134.2
69	151.4	9.2	115.4	137.6	74.6	80.6	108.6	22.7	11.2	13.0	140.7	133.9
70	208.7	92.7	91.2	128.1	76.6	40.6	92.3	146.1	155.9	131.3	145.8	142.8
80	129.0	129.6	97.6	141.2	72.5	64.5	124.0	148.5	169.1	151.3	150.5	141.6
94	73.1		112.3	145.7	98.1	80.4	118.2	113.5	95.2	151.9	152.9	135.6
127			7.0	7.9	8.1	7.9	8.6	8.0	8.0	8.3	8.5	8.3
<b>HCO3 (mg/L)</b>												
7	3.0	3.8	2.4	2.7	1.8	2.9	2.1	3.0	3.2	3.0	2.7	2.6
63	48.2	47.5	47.5	53.0	56.1	56.1	46.9	54.3	45.7	54.3	42.7	47.5
64	140.8	131.1	103.6	150.6	130.5	135.3	129.2	128.0	165.8	128.0	145.1	146.9
65	117.0	120.1	63.4	147.5	118.9	142.6	187.3	229.8	210.3	229.8	135.9	172.5
67	95.1	90.2	82.9	104.2	111.6	95.7	100.6	99.4	106.7	107.3	107.9	114.0
69	120.1	7.3	106.1	140.8	132.9	142.6	134.1	29.9	24.4	29.9	150.6	155.4
70	28.7	53.6	46.3	79.2	108.5	81.1	122.3	129.2	153.0	129.2	145.7	139.6
80	108.5	131.1	104.2	141.4	131.1	126.8	145.9	132.9	159.7	132.9	145.7	164.6
94	28.7		113.4	145.7	139.6	144.5	116.4	131.7	126.8	131.7	167.6	146.3
127			4.1	4.3	4.5	5.5	4.8	4.7	4.1	4.7	5.9	5.1
<b>NO3 (mg/L)</b>												
7	13.1	12.0	3.6	3.1	4.6	4.6	5.4	6.2	4.7	4.2	3.5	2.4
63	107.1	92.8	78.1	88.6	98.9	100.7	102.2	116.3	119.4	127.8	132.9	126.8
64	140.3	145.0	11.2	15.0	8.5	11.2	2.7	0.0	0.0	0.0	1.7	5.2
65	135.5	131.0	9.8	16.3	7.9	8.2	15.0	5.8	1.6	3.5	13.6	15.2
67	2.0	2.0	0.7	1.5	6.9	3.8	9.8	4.1	0.6	2.6	10.1	33.6
69	151.4	9.2	10.6	9.9	7.5	6.3	1.8	2.8	1.5	0.9	1.6	4.0
70	208.7	92.7	0.4	2.0	4.3	0.1	0.0	0.0	0.0	2.3	1.5	2.8
80	129.0	129.6	11.8	12.9	8.1	4.5	4.1	0.0	0.0	0.0		8.9
94	73.1		11.2	12.2	8.6	7.7	1.6	0.0	0.0	0.0	1.8	4.2
127			6.5	6.2	7.0	6.8	8.0	7.2	6.8	7.2	8.0	7.0
<b>NO2 (mg/L)</b>												
7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
63	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
64	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
65	0.2	0.4	0.2	0.5	0.2	0.1	0.6	0.4	0.1	0.1	<0.1	1.2
67	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
69	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
70	0.2	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
80	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
94	<0.1		<0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.7	0.1
127			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>NH4 (mg/L)</b>												
7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1
63	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
64	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	0.2
65	0.1	0.5	<0.1	0.4	0.2	<0.1	<0.1	1.0	0.6	0.3	<0.1	1.3
67	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
69	<0.1	0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.1	0.1	<0.1
70	0.3	0.2	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	0.2	<0.1
80	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.3	0.2
94	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.2	<0.1	0.8	0.2
127			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1



## C.20. Comparação da qualidade das águas subterrâneas com os limites impostos para consumo humano

Param.	Referência do ponto de água											Limite
	7	56	67	146	154	218	219	197	131	134	202	
pH	4.9	5.5	7.8	5.5	7.2	7.3	4.9	5.2	5.8	6.0	5.0	6.5- 9
C.E.	127.9	96.6	501	273	579	890	215	134.6	504	261	99.6	2500
Cl	23	17.9	32.9	29.1	45	74.8	25.6	6.4	3.6	3.9	5.2	250
SO4	11.4	3.3	75.4	22.0	44.2	195.0	36.4	8.2	23.8	32.9	1.5	250
NO3	6.2	2.5	4.9	25.4	<0.04	<0.04	16.9	6.7	59.4	36.0	8.4	50
NO2	<0.02	<0.02	<0.02	0.64	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05	<0.02	<0.02	0.5
NH4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5
K	1.27	1.03	8.56	12.6	12.5	10.4	3.55	1.44	8.66	3.77	1.33	10
Ca	1.7	1.3	25.6	11.5	26.8	42.8	11.6	0.8	39.8	19.3	1.5	100
Mg	3.94	2.16	13.2	6.09	11.7	14.7	3.73	1.92	12	5.52	2.52	50
Na	13	11.4	39	16.9	55	113	17.7	17.2	29.4	15.8	15.4	200
Al	0.06	0.007	0.043	0.049	<0.002	0.004	0.28	0.024	0.005	0.007	0.235	0.2
As	0.00008	0.00006	0.0808	0.00011	0.00359	0.00229	0.00028	0.00012	0.00022	0.00014	0.00098	0.01
B	0.005	0.004	0.077	0.041	0.285	0.317	0.019	<0.003	0.024	0.037	<0.003	1
Ba	0.0277	0.0147	0.036	0.121	0.0239	0.0327	0.0631	0.0351	0.0656	0.0477	0.0418	0.1
Cd	1E-5	<1E-5	<1E-5	4E-5	<1E-5	<1E-5	3E-5	<1E-5	0.00004	<1E-5	63E-5	0.005
Cr	<5E-4	<5E-4	0.0023	<5E-4	<5E-4	<5E-4	<5E-4	<5E-4	<5E-4	<5E-4	<5E-4	0.05
Cu	0.0007	<0.0002	0.0004	0.0252	0.0005	0.0005	0.0039	0.0017	0.0011	0.0005	0.0007	0.002
F	<0.01	<0.01	0.2	0.11	0.48	0.53	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	1.5
Fe	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.35	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.47	0.2
Mn	0.0029	0.0019	0.0002	0.0091	0.0114	0.0165	0.0254	0.0007	0.0023	0.0171	0.0025	0.05
Ni	0.001	<3E-4	0.0006	0.0015	0.0005	0.006	0.0091	0.0009	0.0009	<3E-4	0.0014	0.02
Pb	0.00023	0.00006	0.00003	0.00118	0.00018	0.00003	0.00416	0.00013	0.00007	0.00004	0.00036	0.025
Sb	<1E-5	<1E-5	0.00018	0.00001	0.00002	0.00004	0.00002	0.00002	0.00003	0.00002	0.00005	0.005
Se	0.0025	0.0022	0.0046	0.0025	0.0012	0.0027	0.0034	0.0018	0.0025	0.0012	0.0022	0.01
Zn	0.0028	0.002	0.009	0.091	0.0026	0.0581	0.0196	0.0037	0.0043	0.004	0.0069	0.1
Concentrações dos iões e elementos em mg/L; C.E. em µS/cm.												